



SKRIPSI - TK 141581

**PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP
PERFORMA DARI AKTIVITAS FOTOKATALITIK
ZnO YANG DISINTESA DENGAN METODE
PIROLISA FLAME**

Oleh :

IKA SILVIA ANGGRAENI
NRP 0221 1546 000 015

HERLINDA SEPTIANY
NRP 0221 1546 000 016

Dosen Pembimbing
Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng.
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



SKRIPSI – TK 141581

**PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP
PERFORMA DARI AKTIVITAS FOTOKATALITIK
ZnO YANG DISINTESA DENGAN METODE
PIROLISA FLAME**

Oleh:

Ika Silvia Anggraeni

NRP. 0221 1546 000 015

Herlinda Septiany

NRP. 0221 1546 000 016

Dosen Pembimbing

Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng

NIP. 197612292009121001

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 195209161980031002

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

**THE EFFECT OF SILVER CONTENT TO THE
PHOTOCATALYTIC ACTIVITY PERFORMANCE
OF ZnO PREPARED BY FLAME PYROLYSIS**

By :

Ika Silvia Anggraeni

NRP. 0221 1546 000 015

Herlinda Septiany

NRP. 0221 1546 000 016

Supervisor :

Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng

NIP. 197612292009121001

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng.

NIP. 195209161980031002

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP PERFORMA DARI AKTIVITAS FOTOKATALITIK ZnO YANG DISINTESA DENGAN METODE PIROLISA FLAME

Diajukan Untuk Memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

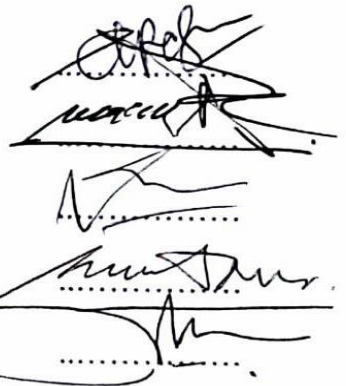
Oleh :

Ika Silvia Angraeni
Herlinda Septiany

02211546000015
02211546000016

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng.
(Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA.
(Penguji I)
4. Dr. Tantular Hartono, S.T., M. Eng.
(Penguji II)
5. Suci Mulya, S.T., M. Eng.
(Penguji III)



SURABAYA
JANUARI 2018

PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP PERFORMA DARI AKTIVITAS FOTOKATALITIK ZnO YANG DISINTESA DENGAN METODE PIROLISA FLAME

Nama : Ika Silvia Anggraeni (02211546000015)
Herlinda Septiany (02211546000016)
Dosen Pembimbing : Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRAK

Teknologi nanopartikel telah berkembang secara luas, salah satunya adalah nano semikonduktor sebagai bahan fotodegradasi menggunakan fotokatalis. Zinc oksida telah banyak digunakan dikarenakan stabil kimianya, namun konversinya rendah dan terbatas pada sinar UV. Oleh karena itu, diperlukan cara untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis salah satunya dengan penambahan doping perak (Ag). Sehingga, tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh penambahan Ag terhadap aktivitas fotokatalitik nanokomposit Ag/ZnO yang disintesa dengan metode flame pyrolysis. Uji fotokatalitik dilakukan dengan mengevaluasi degradasi methylene blue dibawah sinar UV dan matahari. Hasil fotokatalitik menunjukkan bahwa performance terbaik pada saat konsentrasi Ag 5% wt dengan laju degradasi sebesar 98.06% pada penambahan massa sebesar 2mg dibawah sinar matahari. Keberadaan Ag didalam nanokomposit Ag/ZnO dapat diamati menggunakan XRD, SEM dan TEM. Hasil XRD menunjukkan bahwa peak tertinggi Ag pada 20 %wt yaitu pada sudut fase 38.12° . Hasil SEM dan TEM terlihat morfologi nanokomposit Ag/ZnO dimana semakin besar doping Ag maka diameter partikel juga semakin besar yaitu pada konsentrasi 20% Ag sebesar 63.5 nm.

Kata kunci : fotokatalitik, nanokomposit, efisisensi degradasi

THE EFFECT OF SILVER CONTENT TO THE PHOTOCATALYTIC ACTIVITY PERFORMANCE OF ZnO PREPARED BY FLAME PYROLYSIS

Name : Ika Silvia Anggraeni (02211546000015)
Herlinda Septiany (02211546000016)
Advisor : Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

ABSTRACT

The development of particle technology is increasing continously, one of which is nano semiconductors as photodegradation materials using photocatalysts. Zinc oxide has been used because of its stable chemical, but its conversion is low and limited to UV light. Therefore, it is necessary to increase photocatalyst activity, one of them with the addition of silver (Ag) as a doping material. Thus, the purpose of this research is to study the effect of the Ag content on photocatalytic activity of Ag-ZnO nanocomposite which is synthesized by flame pyrolysis method. Photocatalytic tests were performed by evaluating the degradation of methylene blue under UV and sunlight. Photocatalytic results showed that the best performance at the Ag 5% wt concentration with degradation rate of 98.06% at the addition of 2 mg of mass under the sun. The presence of Ag in Ag-ZnO nanocomposites can be observed using XRD, SEM and TEM. The XRD results show that the highest peak Ag at 20% wt at the phase degree 38.12°. SEM and TEM analysis results show that increased doping Ag will also increase the particle size of the particle and the largest particle diameter result is Ag 20% wt is 63.5 nm

Keyword : *photocatalytic, nanocomposite, degradation efficiency*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME karena atas rahmat dan karunia-Nya kami dapat melaksanakan Tugas Laporan Skripsi yang berjudul **Pengaruh Penambahan Ag terhadap Performa dari Aktifitas Fotokatalitik ZnO yang Disintesa dengan Metode Pirolisa Flame** dan menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta seluruh keluarga kami atas doa, dukungan, bimbingan, perhatian dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan membantu kami
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.T., Ibu Dr. Siti Machmudah, S.T., M.T., dan Ibu Suci Madha Nia, S.T., M.T. selaku dosen kami di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
6. Bang Farid selaku Laboran Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
7. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan rekan – rekan dari Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran serta

semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Kami menyadari bahwa penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 19 Januari 2018

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Abstract	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Karakteristik Zinc Oxide (ZnO)	5
2.2 Karakteristik Silver (Ag)	8
2.3 Metode Sintesis Partikel	8
2.4 Mekanisme Fotokatalis	18
2.5 Metode Analisa	20
2.6 Penelitian Tedahulu	25
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
3.1 Bahan dan Peralatan Penelitian	31
3.2 Variabel dan Kondisi Operasi Penelitian	34
3.3 Prosedur Eksperimen	35
3.4 Diagram Alir Percobaan	37
BABIV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pembuatan Larutan Prekursor	40
4.2 Kristalinitas Partikel ZnO	41
4.3 Hasil Analisa SEM	48
4.4 Hasil Analisa TEM	53
4.5 Hasil Analisa BET	54
4.6 Hasil Analisa Fotokatalitik	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	

5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	xii
DAFTAR NOTASI	xvii
APPENDIKS	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kristal ZnO:(a)rocksalt, (b) zincblende, (c) wurtzite.....	6
Gambar 2.2	Skema Umum Proses Sol-Gel	10
Gambar 2.3	Tahapan Proses Sol-Gel	11
Gambar 2.4	Konfigurasi Pencampuran Reaktan Double Inverted (A&B).....	14
Gambar 2.5	Contoh Proses <i>Spray Pyrolysis</i> Dalam Pembuatan Ag-TiO ₂	16
Gambar 2.6	Skema Peralatan <i>Spray Drying</i>	17
Gambar 2.7	Mekanisme Fotokatalis Ag/Zno (A) Mekanisme Pada Sinar Tampak (B) Mekanisme Pada Sinar UV	19
Gambar 2.8	Mekanisme Fotokatalis Terhadap Polutan Organik.	20
Gambar 2.9	Elektron Dari Kulit 1s Terionisasi; Elektron Dari Kulit 2p Mengisi Kekosongan Elektron Dari Kulit 1s Kemudian Melepaskan Energi Yang Disebut Sinar-X.....	21
Gambar 2.10	Ilustrasi Hukum Bragg.....	22
Gambar 2.11	Ilustrasi Eksperimen Difraksi Sinar-X.	22
Gambar 2.12	Sinyal Refleksi dan Transmisi Pada SEM.....	23
Gambar 2.13	Prinsip SEM.....	24
Gambar 2.14	Kedalaman yang Ditembus oleh SE dan BSE.....	24
Gambar 2.15	Proses Yang Terjadi Saat Elektron Ditembakkan Ke Sampel.	25
Gambar 2.16	Hasil Analisa SEM Dari Zno (A) (B) Perbesaran Partikel Zno (C) Partikel Zno Yang Ditambahkan Au (D) Partikel Zno Yang Ditambahkan Ag.	26
Gambar 2.17	Hasil Degradasi RhB oleh ZnO dan Ag/ZnO Selama 30 Menit.	27
Gambar 3.1	Skema Rangkaian Alat <i>Flame Pyrolysis</i>	33

Gambar 3.2	Skema Rangkaian Alat Uji Fotokatalitik.....	34
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan Partikel	37
Gambar 3.4	Diagram Alir Uji Fotokatalitik.....	38
Gambar 4.1	Hasil Analisa XRD Nanopartikel Ag-Zno Operasi.....	43
Gambar 4.2	Susunan Atom Kristal (a), (b) Susunan Atom Amorf	46
Gambar 4.3	Warna Partikel Ag-Zno Untuk 0% Hingga 20% ..	47
Gambar 4.4	Hasil Analisa SEM Pada 0.1 M Ag-Zno Dengan Doping Ag Sebesar (a) 0% (b) 0.01% (c) 0.05% (d) 0.1% (e) 1% (f) 5% (g) 10% (h) 20%	50
Gambar 4.5	Grafik Distribusi Partikel 0.1 M Ag-ZnO dengan doping Ag sebesar (a) 0% (b) 0.01% (c) 0.05% (d) 0.1% (e) 1% (f) 5% (g) 10% (h) 20%	52
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Doping Ag Terhadap Diameter Partikel.....	52
Gambar 4.7	Hasil Analisa TEM Dan TEM EDX 0.1 M Zno Dengan Doping Ag Sebesar (a) 0% (b) 5% (c) 20%	53
Gambar 4.8	Grafik Hasil Analisa BET 0.1 M Ag-Zno Dengan Doping Ag Sebesar (a) 0% (b) 0.1% (c) 1% (d) 5% (e) 20%	55
Gambar 4.9	Kurva Standarisasi <i>Methylene Blue</i>	57
Gambar 4.10	Mekanisme Degradasi <i>Methylene Blue</i>	58
Gambar 4.11	Persamaan Reaksi Degradasi Metilen Blue.....	59
Gambar 4.12	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar Uv <i>Blue</i>	60
Gambar 4.13	Plot $\ln(C/C_o)$ Vs Waktu Pada Sinar UV	62
Gambar 4.14	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar Matahari	63
Gambar 4.15	Plot $\ln(C/C_o)$ vs Waktu pada sinar Matahari	65
Gambar 4.16	Analisa Fotokatalitik Berbagai Variasi Konsentrasi (A) Sebelum, (B) Sesudah Degradasi Pada Sinar UV, (C) Ag-Zno 5% Dengan Laju	

	Degradasi Terbaik Pada Sinar UV, (D) Ag-Zno 5% Dengan Laju Degradasi Terbaik Pada Sinar Matahari	66
Gambar 4.17	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar UV	67
Gambar 4.18	Plot $\ln(C/C_o)$ vs Waktu Pada Sinar UV.....	68
Gambar 4.19	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar Matahari	69
Gambar 4.20	Plot $\ln(C/C_o)$ Vs Waktu Pada Sinar Matahari	70
Gambar 4.21	Hasil Analisa Fotokatalitik Zno Murni (A) Sebelum Dan Sesudah Degradasi, Serta Nanopartikel Zno Terbaik Pada 10 Mg Pada Sinar UV (B) Sebelum Dan Sesudah Degradasi, Serta Nanopartikel Zno Terbaik Pada 10 Mg Pada Sinar Matahari.....	71
Gambar 4.22	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar UV	72
Gambar 4.23	Plot $\ln(C/C_o)$ Vs Waktu Pada Sinar UV.....	73
Gambar 4.24	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar Matahari	74
Gambar 4.25	Plot $\ln(C/C_o)$ Vs Waktu Pada Sinar Matahari	75
Gambar 4.26	Analisa Fotokatalitik Zno Murni (A) Sebelum Dan Sesudah Degradasi, Serta Nanopartikel Zno Terbaik Pada 2 Mg Pada Sinar UV (B) Sebelum Dan Sesudah Degradasi, Serta Nanopartikel Zno Terbaik Pada 2 Mg Pada Sinar Matahari.....	77
Gambar 4.27	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar UV	77
Gambar 4.28	Plot $\ln(C/C_o)$ Vs Waktu Pada Sinar UV.....	79
Gambar 4.29	Efisiensi Degradasi <i>Methylene Blue</i> Pada Sinar Matahari	80
Gambar 4.30	Plot $\ln(C/C_o)$ Vs Waktu Pada Sinar Matahari	81
Gambar 4.31	Hasil Analisa Fotokatalitik Zno Murni (A) Sebelum Dan Sesudah Degradasi, Serta Nanopartikel Zno Terbaik Pada 6 Mg Pada	

Sinar UV (B) Sebelum Dan Sesudah, Serta Nanopartikel Zno Terbaik Pada 6 Mg Pada Sinar Matahari.....	82
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya	28
Tabel 4.1 Ukuran Diameter Kristal Ag-ZnO	45
Tabel 4.2 Hasil Analisa BET 0.1 M nanokomposit Ag-ZnO	56

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang pesat menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan yang dikarenakan limbah logam berat dan organik. Selain logam berat, terdapat senyawa organik berwarna yang sulit untuk diurai. Pembuangan limbah ke lingkungan merupakan sumber pencemaran dan dapat menimbulkan bahaya, efek toksik dan mengurangi penetrasi cahaya di perairan yang tercemar (Prado et al., 2008). Contohnya adalah zat warna reaktif pada industri tekstil seperti *remazol brilliant orange*, *remazol yellow*, *remazol red*, *remazol black B*, dan *methylene blue*. Zat-zat warna tersebut sering digunakan untuk proses pewarnaan batik, baik dalam skala industri besar maupun industri rumahan (Nugroho et al., 2013). Zat warna yang paling sering digunakan adalah *methylene blue* ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) karena memberikan warna yang cerah dan tidak mudah luntur. *Methylene blue* merupakan senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan merupakan dye kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat (Dilla Sistesya, 2013).

Banyak metode yang telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan limbah warna ini, seperti metode klorinasi, biodegradasi dan ozonisasi. Namun metode tersebut dinilai kurang efektif karena membutuhkan biaya operasional yang cukup mahal serta proses pengolahan yang lama (Fatimah et al., 2006). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan teknologi baru sebagai solusi dari masalah tersebut salah satunya adalah nanoteknologi. Pengembangan nanoteknologi pada saat ini terus dilakukan oleh para peneliti dimana bidang yang menarik minat banyak peneliti adalah pengembangan metode sintesis nanopartikel untuk proses fotodegradasi (Yuliah & Suryaningsih, 2016). Sintesis nanopartikel bermakna pembuatan partikel dengan ukuran yang kurang dari 100 nm dan sekaligus mengubah sifat atau fungsinya. Karena ukurannya yang kecil, nanopartikel memiliki nilai

perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar. Ini membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif (Khairurrijal, 2008).

Fotodegradasi merupakan metoda yang relatif murah dan mudah. Prinsip metode ini yaitu menggunakan fotokatalis yang berasal dari bahan nano semikonduktor seperti TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , CdS , dan sebagainya (Sakhtivel et al., 2003). Nano semikonduktor sangat menarik untuk dikembangkan karena sifat optik dan elektroniknya. TiO_2 telah lama dilaporkan sebagai fotokatalis yang menjanjikan karena harganya yang murah dan memiliki efektifitas yang tinggi (Zaleska, 2008). Namun semikonduktor ZnO memiliki keuntungan dibandingkan dengan TiO_2 karena ZnO mampu menyerap spektrum matahari dan kuantum cahaya lebih banyak dibandingkan dengan TiO_2 (Hutabarat, 2012). Material ZnO memiliki jarak celah pita yang lebih besar (3,37 eV) daripada TiO_2 (3,2 eV) (Singh, 2009). Selain itu, ZnO sebagai alternatif dari TiO_2 dipilih karena sangat stabil, tidak beracun, tersedia secara luas serta murah (Liu et al., 2015).

Fotokatalis secara umum didefinisikan sebagai proses reaksi kimia yang dibantu oleh cahaya dan katalis padat. Cahaya tersebut akan membentuk elektron dan hole (e^- dan h^+). Elektron bereaksi dengan oksigen dalam air membentuk anion (O^{2-}) yang kemudian mengoksidasi secara kuat hidroksil radikal ($\bullet\text{OH}$). Sedangkan hole mengoksidasi hidroksil yang terlarut dan mengubahnya menjadi radikal dengan energi yang besar. Hidroksil radikal dengan energi besar akan mendekomposisi polutan organik dalam zat cair menjadi gas yang selanjutnya menguap atau menjadi zat lain yang tidak berbahaya (Abdullah dkk, 2009). Namun pasangan elektron ini bersifat tidak stabil dan dapat terjadi rekombinasi dengan melepaskan panas, karena itu diperlukan senyawa sebagai ion acceptor yang dapat menjaga kesetimbangan muatan dalam sistem dengan cara mereduksi dan mencegah rekombinasi electron-hole dengan menambahkan doping pada semikonduktor fotokatalis (Wahyu & Dini, 2014).

Pendopingan merupakan suatu cara untuk merubah sifat-sifat listrik maupun sifat optik semikonduktor. Ketika semikonduktor

didoping maka konduksi semikonduktor dapat ditingkatkan. Peningkatan konsentrasi elektron juga dapat memperbesar lebar celah pita energi semikonduktor. Pendopingan juga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis secara signifikan. Doping ZnO dilakukan dengan berbagai logam mulia seperti emas (Au), palladium (Pd), dan perak (Ag) (Amornpitoksuk, 2012).

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalis ZnO antara lain dengan melakukan penambahan logam mulia Ag. Diantaranya adalah Sarvanan et al. (2014) mensintesis nanopartikel ZnO yang didoping Ag dengan prekursor seng asetat dihidrat dan perak nitrat menggunakan metode pembakaran, kemudian Bouzid et al. pada tahun 2014 penambahan Ag pada ZnO dengan menggunakan metode sol-gel, serta sintesis Ag-ZnO dengan penambahan *urtica dioica leaf extract* yang dilakukan oleh Sohrabnezhad dan Seifi pada tahun 2016. Steven dkk (2017) melakukan sintesis Ag-ZnO dengan flame pyrolysis dengan hasil yang optimum 5% wt namun partikel yang dihasilkan masih teraglomerasi yang dimungkinkan karena konsentrasi droplet yang dihasilkan tidak seragam.

Secara umum, metode dapat dilakukan untuk pembentukan nanopartikel ada dua yaitu *gas phase* dan *liquid phase*. Metode *liquid phase* contohnya adalah sol-gel namun dinilai kurang efektif karena pretreatment yang susah serta diperlukan proses pengolahan lebih lanjut. Metode *gas phase* antara lain adalah *spray drying furnace* dan flame pyrolysis. *Spray drying furnace* juga dinilai kurang efektif karena membutuhkan energi listrik yang besar, sehingga dipilih metode *flame pyrolysis*. Pada metode ini, flame sebagai sumber panas yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar (LPG). Kelebihan *flame pyrolysis* dibandingkan *spray pyrolysis* adalah lebih mudah di *scale up* untuk kuantitas komersial daripada metode *spray pyrolysis*. Selain itu, sumber energi pemanas diperoleh dari LPG sehingga harganya murah. Maka, hal inilah yang menjadi dasar pemilihan sintesis nanocomposite Ag-ZnO dengan metode *flame pyrolysis*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Mensintesis nanokomposit Ag-ZnO yang memiliki tingkat aglomerasi rendah dengan mengatur volume larutan prekursor dalam *ultrasonic nebulizer*.
2. Pengaruh komposisi AgNO_3 dan *Zinc Acetate Dihydrate* sebagai prekursor terhadap karakteristik dan daya fotokatalitik nanokomposit Ag-ZnO.
3. Pengaruh penambahan massa nanokomposit Ag-ZnO terhadap daya fotokatalitik.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang diatas maka dapat disimpulkan beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh massa nanokomposit Ag-ZnO yang optimum terhadap daya fotokatalitik.
2. Mengetahui pengaruh komposisi AgNO_3 dan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor terhadap karakteristik dan daya fotokatalitik nanokomposit Ag-ZnO.
3. Memberikan informasi mengenai hubungan laju aglomerasi terhadap ukuran dan morfologi nanokomposit Ag-ZnO.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan diatas maka diharapkan manfaat yang dapat didapatkan pada penelitian ini adalah :

1. Sebagai sarana referensi dalam penelitian berbasis ZnO dan sintesis nanopartikel.
2. Sebagai pengembangan pengetahuan terhadap meminimalisir masalah lingkungan khususnya untuk penguraian limbah organik dan polutan udara.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik *Zinc Oxide* (ZnO)

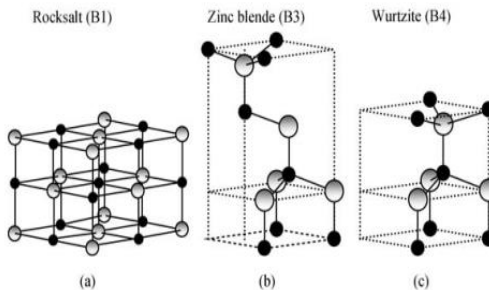
Zinc oxide merupakan senyawa anorganik dengan rumus molekul ZnO, berbentuk serbuk putih, tidak larut dalam air, dan secara luas digunakan sebagai zat adiktif pada kebanyakan material dan produk seperti plastik, keramik, kaca, semen, pelumas dan baterai. ZnO adalah material semikonduktor yang menghasilkan luminisens biru sampai hijau-kuning yang cukup efisien. Sifat ini menjadikan ZnO sebagai material yang sangat potensial bagi pengembangan sumber cahaya putih (*white light sources*). Sebagai bahan semikonduktor, ZnO memiliki potensi sebagai bahan *photoluminescent* yang setara dengan *Gallium Nitride* (GAN) untuk digunakan dalam aplikasi seperti *Light Emitting Diode* (LED) dan sensor elektroda transparan. Juga merupakan bahan yang efisien untuk fosfor tegangan rendah (Abdullah, 2001).

Zinc oksida adalah bahan semikonduktor yang sangat menjanjikan dikarenakan besarnya potensi dari zinc oksida untuk digunakan dalam *photodiodes*, *photocatalysis*, *sensing*, dan *photovoltaic cell* (Bouزيد et al., 2014). Sebelumnya zinc oksida digunakan sebagai bahan pewarna untuk cat, kosmetik dan juga dapat digunakan untuk sensor gas (Demir et al., 2015). Sebagai salah satu dari UVLD (*UV-Light Driven*) maka zinc oksida hanya bekerja untuk sinar UV dimana hanya 3-5% dari spektrum matahari (Sohrabnezhad dan Seifi, 2016).

Secara umum, zinc oksida memiliki banyak kelebihan seperti sangat stabil, tidak beracun, mudah untuk ditemukan, serta murah sehingga menjadi alasan mengapa zinc oksida banyak digunakan (Liu et al., 2015). Beberapa tahun ini, permintaan untuk zinc oksida dengan performa tinggi sangat meningkat yang kemudian digunakan untuk elektroda dari sel surya dan untuk fotokatalis yang kemudian juga membuat dimulailah penelitian secara intensif untuk zinc oksida (Tani et al., 2002).

Salah satu faktor contoh peningkatan untuk zinc oksida adalah dengan cara menjadikan partikel tersebut *mesoporous* dan dengan menghasilkan zinc oksida yang *mesoporous* dapat meningkatkan kualitas optik dari partikel tersebut, kecilnya indeks refleksi, hasil kristal yang lebih kecil yang menghasilkan luas permukaan yang lebih besar, dan juga dapat meningkatkan aktifitas fotokatalitik (Bouzid et al., 2014).

Struktur Kristal ZnO terdiri atas tiga bentuk yaitu: *wurtzite*, *zinc blende*, dan *rocksalt* yang dapat ditunjukkan pada gambar 2.1. Struktur *wurtzite* terbentuk pada kondisi tekanan normal dan fase termodinamika yang stabil. Sedangkan struktur ZnO *zinc blende* terbentuk pada substrat kubik, dan struktur *rocksalt* terbentuk pada kondisi dengan tekanan tinggi (Morkoc dan Özgür, 2009).



Gambar 2.1 Struktur Kristal ZnO: (a) rocksalt, (b) zincblende, (c) wurtzite (Morkoc dan Özgür, 2009)

Dalam aplikasinya, ZnO menghasilkan aktifitas fotokatalis yang sangat tinggi namun terbatas pada sinar UV saja sehingga mengurangi efektifitas dari partikel (Sohrabnezhad dan Seifei, 2016). Sinar matahari sendiri hanya mengandung sinar UV yang kurang dari 5% sehingga untuk aplikasi besar sangat tidak efektif (Fageria et al., 2014). Partikel ZnO sendiri memiliki *band gap* yang tinggi yaitu 3.37eV dan energi ikat eksitasi sebesar 60meV (Bechambi et al., 2015), sehingga cocok untuk digunakan sebagai fotokatalis. Semakin kecil *bandgap energy* maka akan semakin mudah juga fotokpatalis menyerap foton, namun kemungkinan

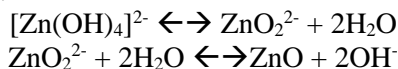
rekombinasi h^+ dan juga e^- juga semakin besar sehingga kedua aspek ini perlu diperhatikan dalam pemilihan katalis (Guritno,2012).

Namun penggunaan zinc oksida saja dianggap kurang efektif berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, menurut Liu et al. konversi energi yang dilakukan oleh zinc oksida terutama untuk efisiensi konversi fotokatalis masih sangat rendah yang dikarenakan oleh :

1. Besarnya laju dari penggabungan kembali pasangan *electron-hole* yakni sebesar 90% yang menandakan akan kembali bergabung sebelum sampai pada permukaan fotokatalis.
2. *Band gap* yang lebar namun hanya bekerja pada sinar UV yaitu kurang dari 5% dari total sinar yang dipancarkan oleh matahari.

Untuk mengatasi hal ini banyak yang telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari partikel ZnO sebagai contoh hibridisasi antara ZnO yang telah ditunjang dengan FeO dapat meningkatkan efisiensi dari aktifitas fotokatalis (Bechambi et al., 2015), cara yang lain yang sedang banyak digunakan adalah dengan memodifikasi permukaan dari ZnO dengan menggunakan logam mulia seperti Ag (perak), Au (Emas). Hal ini dapat meningkatkan kemampuan transfer elektron yang dapat meningkatkan efisiensi fotokatalis (Zhai et al., 2015).

Partikel ZnO sendiri dapat dibuat dari *zinc acetate dihydride* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dengan menggunakan metode seperti *flame pyrolysis*, *spray pyrolysis*, *sol-gel method*, dan *hydrothermal synthesis*. Reaksi dari hasil *zinc acetate dihydride* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) menjadi zinc oksida sangatlah kompleks dan karena itu hanya diklasifikasikan menjadi 2 step paling penting sebagai berikut :



2.2 Karakteristik Silver (Ag)

Logam mulia seperti Au, Ag dan Cu memiliki kelebihan yang sangat menarik karena keunikan mereka untuk penyerapan pada wilayah sinar tampak dikarenakan adanya *Localized Surface Plasmon Resonance* (LSPR) yang sudah lama digunakan untuk pewarnaan *stained glass* sejak lama (Hashimoto et al., 2005). *Localized surface plasmon resonance* sendiri bertanggung jawab untuk peningkatan medan elektromagnet yang kemudian juga akan meningkatkan *Surface Enhanced Raman Scattering* (SERS) dan juga peningkatan untuk permukaan proses spektrokopis (Willems, 2006). Dari semua logam mulia yang disebutkan diatas, partikel perak (Ag) merupakan partikel yang nonlinier dikarenakan :

1. Cepatnya waktu respon non linear optis
2. Peningkatan kenonlinearan optis dikarenakan adanya LSPR

Silver atau perak telah banyak digunakan dan sekarang menjadi bahan yang secara komersial banyak digunakan untuk nano material terutama untuk agen anti mikroba yang dapat digunakan pada :

1. Tekstil
2. *Self-sterilizing polymer films*
3. Purifikasi udara dan air
4. Implant tulang

Selain itu, perak juga digunakan pada penambahan partikel nano material untuk peningkatan performa fotokatalis dari partikel tersebut. Hal ini dikarenakan kemampuan dari spesies perak untuk mengisi lubang elektron dengan berkombinasi, yang mana dapat dijelaskan dengan properti penerimaan elektron dari atom perak dan juga dapat dijelaskan melalui LSPR (Kusdianto et al., 2017).

2.3 Metode Sintesis Partikel

2.3.1 *Sol-Gel Synthesis*

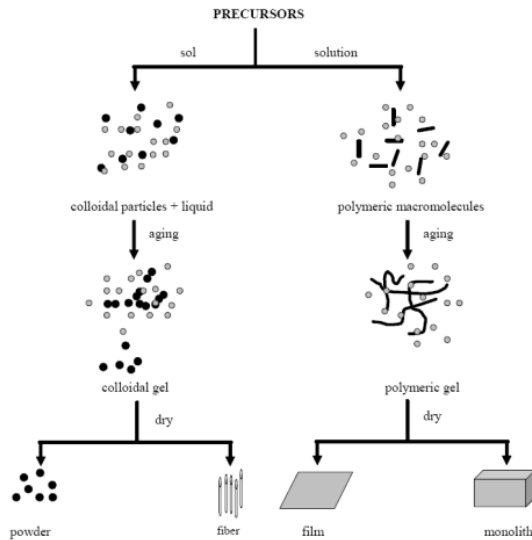
Teknologi *sol-gel* merupakan teknologi yang sudah dikembangkan lebih dari 40 tahun yang biasanya digunakan untuk alternatif dalam persiapan pembuatan gelas-gelas dan keramik

dalam temperatur rendah. Pembentukan *sol* merupakan suatu rangkaian operasi yaitu *gelling*, *drying*, *pressing*, *drawing* dan *casting* yang mana menghasilkan struktur yang bermacam-macam dan transformasi fase. Hal ini menghasilkan formasi seperti bubuk, *fiber*, *coating*, dll. *Sol-gel method* ditemukan oleh Geffecen dan Berger dari *Shott Company* pada tahun 1930 dengan menemukan *layer* oksidasi pada gelas industri. Setelah itu, penggunaan teknologi *sol-gel* mulai banyak digunakan sejak tahun 1993 (Dimitriev et al., 2008).

Metode *sol-gel* ini juga masih banyak digunakan untuk pembuatan nanopartikel Ag-ZnO yang digunakan untuk fotokatalis. Metode ini dapat digunakan pada tekanan atmosferik dan juga temperatur yang tidak terlalu tinggi, sehingga lebih mudah untuk dilakukan. Namun metode ini membutuhkan proses yang lebih lanjut dikarenakan adanya residu atau impuritas pada hasil produk (Kusdianto et al., 2017). Selain itu, metode *sol-gel* ini juga memerlukan *coating* secara terus menerus untuk mendapatkan lapisan hasil produk (Yu et al., 2005).

Prekursor atau bahan awal diperoleh dari alkoksida logam dan klorida logam yang mengalami reaksi hidrolisis dan reaksi polikondensasi untuk membentuk koloid. Koloid adalah suatu sistem yang terdiri dari partikel-partikel padat (ukuran partikel antara 1 nm sampai 1 μ m) yang terdispersi dalam suatu pelarut. Prekursor juga dapat disimpan pada suatu substrat untuk membentuk film (seperti melalui *dip-coating* atau *spin-coating*), yang kemudian dimasukkan kedalam suatu wadah yang sesuai dengan bentuk yang diinginkan, misalnya untuk menghasilkan suatu keramik monolitik, gelas, fiber atau serat, membrane, aerogel, atau juga untuk mensintesis bubuk baik butiran mikro maupun nano (Widodo, 2010).

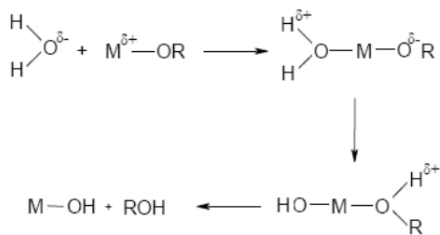
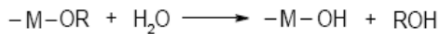
Dari beberapa tahapan proses sol-gel, terdapat dua tahapan umum dalam pembuatan metal oksida melalui proses sol-gel, yaitu hidrolisis dan polikondensasi seperti terlihat pada Gambar 2.3 berikut ini. Pada tahap hidrolisis terjadi penyerangan molekul air (Widodo, 2010).



Gambar 2.2 Skema Umum Proses Sol-Gel (Widodo, 2010)

Dalam metode sol-gel ada dua tahapan reaksi, yaitu :

1. Hidrolisis Metal Oksida



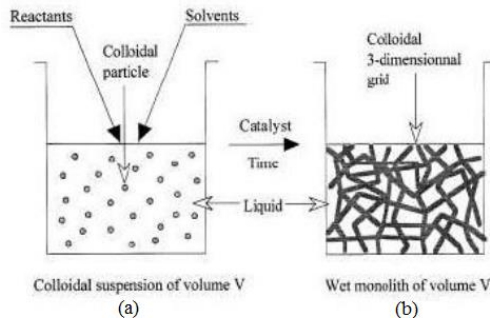
2. Kondensasi



Adapun tahapan dalam polimerisasi sol-gel menurut Iler adalah :

1. Polimersasi monomer-monomer membentuk partikel
2. Pertumbuhan partikel

3. Pengikatan partikel membentuk rantai, kemudian jaringan yang terbentuk diperpanjang dalam medium cairan, mengental menjadi suatu gel, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut (Widodo, 2010)



Gambar 2.3 Tahapan Proses Sol-Gel (Widodo, 2010)

2.3.2 *Flame Synthesis*

Proses *flame* merupakan proses yang sekarang ini digunakan secara luas untuk pembentukan nanopartikel secara komersial. Salah satu contoh dari produk tersebut adalah *carbon black*. Salah satu keuntungan dari penggunaan *flame* adalah hasil yang sangat murni dan juga *nonporous*. Pada metode *flame* untuk mendapatkan hasil produk yang diinginkan digunakan berbagai variasi konfigurasi untuk *flame* itu sendiri sebagai contoh konfigurasi adalah *premixed* dan *diffusion*. Pada *diffusion flame*, bahan bakar atau *fuel* serta *oxidizer* berdifusi satu dengan yang lain menentukan reaksi *flame* dan formasi partikel. Namun pada *premixed*, prekursor dengan gas kombustibel dicampur satu dengan yang lain sebelum memasuki zona reaktor. Bergantung pada kecepatan gas dan geometri dari *burner*, *flame* dapat menjadi turbulen ataupun laminar. Pada proses percobaan di lab, *flame* laminar lebih diinginkan dikarenakan lebih mudahnya untuk di diskripsikan dengan model (Kammler et al., 2001).

Dalam proses *flame synthesis*, tipe precursor dapat dibedakan menjadi 2 yaitu *gas* dan *liquid*. Pertama, *reactor flame*

melibatkan reaksi fase *gas* dari precursor yang terinjeksi secara difusi atau *premixed flame*, tipe ini dinamakan *Vapour-Fed Flame Synthesis*. Energi yang dihasilkan dari pembakaran digunakan untuk mengendalikan hasil reaksi kimia dalam pembentukan spesies dengan tekanan uap yang rendah, dimana kemudian terjadi nukleasi untuk membentuk partikel bahkan *gas-feed flame synthesis* hanya digunakan untuk beberapa material yang bersifat *volatile*. Saat ini *liquid flame synthesis* dikembangkan dengan menggunakan bahan *inorganic* yang murah atau *non-volatile precursor* (Strobel,2007).

Dalam *liquid-fed flame synthesis*, liquid prekursor disemprotkan dan dikonversi membentuk produk partikel. Morfologi dari partikel akhir tergantung dari tipe prekursor dan kondisi operasi dari pembakaran. Kegunaan dari prekursor organik atau ditambahkannya bahan bakar *liquid* seperti etanol, hidrogen pada prekursor adalah untuk menghasilkan partikel berukuran nanometer (Nugroho et al.,2011). Laju alir bahan bakar dan oksigen yang tinggi berguna untuk menghasilkan daerah pembakaran dengan temperatur tinggi, selain itu partikel *submicron* dapat disintesis dengan mekanisme yang hampir sama seperti *spray pyrolysis*.

Apabila dibandingkan dengan proses pada fase gas, *flame synthesis* dari suatu material tidak memerlukan tambahan sumber energi untuk mengkonversi prekursor seperti halnya plasma, laser atau dinding yang dipanasi secara elektrik sehingga dapat mengurangi *capital investment* proses. Pada *flame* proses, energi dihasilkan secara langsung oleh reaksi kimia untuk pembentukan partikel. Energi yang dihasilkan dibebaskan secara cepat melalui radiasi dan konveksi. Berbagai macam reaktor *flame* telah digunakan dan dikelompokkan menurut keadaan dan pensuplai prekursor.

Vapor-fed Aerosol Flame Synthesis (VAFS) adalah proses pembakaran prekursor yang *volatile* dalam komponen hidrokarbon, hidrogen, atau halida. Dalam proses ini partikel dibentuk setelah prekursor terkonversi melalui nukleasi dari fase gas dan kemudian tumbuh oleh reaksi permukaan atau koagulasi, setelah itu saling

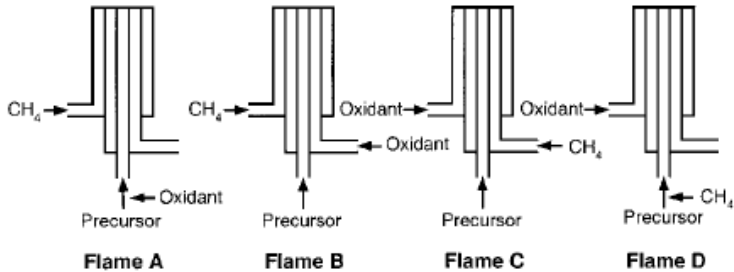
berdekatan membentuk partikel yang lebih besar. VAFS banyak diaplikasikan pada industri untuk memproduksi partikel dari silika, alumina, dan pigmen titanium, bahkan ketersediaan volatil prekursor terbatas hanya pada sedikit bahan.

Liquid-fed Aerosol Flame Synthesis (LAFS) lebih fleksibel karena digunakan non-volatil prekursor yang lebih mudah didapat. *Carbon Black* dibuat dengan metode LAFS atau dikenal dengan proses *furnace*. Pada umumnya larutan prekursor, emulsi atau *slurry* dispray dan terkonversi menjadi produk partikel evaporasi dari keseluruhan prekursor menunjukkan padatan nano partikel dalam VAFS, sedangkan droplet yang tidak terevaporasi secara sempurna menghasilkan partikel berbentuk *hollow* dan *shell* dengan ukuran *micron*.

Spraying disempurnakan dengan atomisasi larutan melewati alat bantu konvensional udara atau *nozzle ultrasonic* kemudian prekursor diuapkan dengan bantuan sumber panas luar untuk proses pembakaran. Untuk larutan organik dengan kandungan entalpi yang tinggi dipilih *small pilot flame* sehingga dapat menjadi sumber pemicu terjadinya pembakaran serta menjaga pembakaran *spray*. Proses ini dinamakan *flame spray pyrolysis* (FSP), sedangkan prekursor inorganik dengan kandungan entalpi larutan yang rendah, digunakan pembakaran eksternal sebagai sumber panas yang dihasilkan oleh dinding pemanas dari *classic spray pyrolysis*. Proses ini dinamakan *flame-assisted spray pyrolysis* (FASP).

Temperatur dari *flame* dan waktu tinggal partikel merupakan parameter paling penting dalam menentukan properti dari produk. Dalam hal ini *flame* sendiri dipengaruhi oleh reaktan awal dan pencampurannya dan juga oleh geometri dari *burner*. Partikel titania sendiri dihasilkan di dalam *double inverted diffusion flame* yang mana dapat menghasilkan 10x lebih kecil dibandingkan *single classic diffusion flame*.

Selain itu *flame* juga dipengaruhi oleh larutan prekursor itu sendiri serta juga dapat dipengaruhi dengan adanya penambahan bahan *additives* terutama untuk mengontrol hasil ukuran partikel (impuritas dapat ditoleransi) (Kammler et al., 2001).



Gambar 2.4 Konfigurasi Pencampuran Reaktan *Double Inverted* (A&B) serta *Single Classic* (C&D)

(Kammler et al.,2001)

Flame spray pyrolysis sendiri masuk kedalam metode *one-step deposition* dan menjadi salah satu metode yang luas dan banyak digunakan namun metode ini memiliki kekurangan yaitu dibutuhkan temperatur yang tinggi (diatas 550°C) untuk memastikan dekomposisi dari prekursor selain itu juga diperlukan penggunaan solvent untuk peleburan prekursor (Kusdianto et al.,2017).

Partikel yang dihasilkan pada proses pembakaran dapat dipisahkan dengan *filter*, *cyclone* atau *electrostatic precipitators* (EP). Sebagai alternatif dari pengumpulan produk dapat dilakukan deposisi langsung pada plat datar, *tube*, *fiber* atau substrat busa. Demikian juga deposisi dapat terjadi akibat perbedaan temperatur substrat dengan perbedaan morfologi partikel mempengaruhi struktur film dan tekstur partikel.

2.3.3 *Spray Pyrolysis Synthesis*

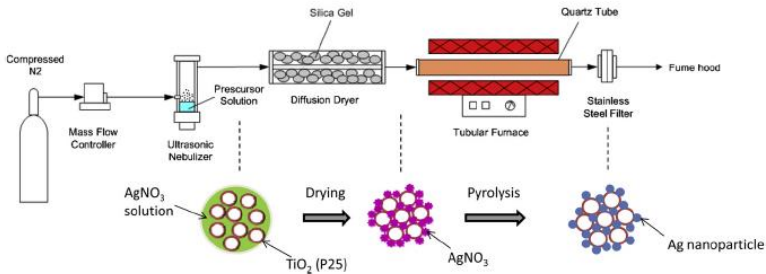
Proses yang berlangsung adalah reaksi pirolisis pada droplet yang dihasilkan *spray*. Pirolisis adalah reaksi kimia pada suhu tinggi. Jika yang *dispray* adalah larutan prekursor yang dapat bereaksi pada suhu tinggi, maka dengan metode *spray* dapat dibuat lebih cepat. Proses pembentukan partikel hanya berlangsung beberapa detik. Metode semacam ini disebut *spray pyrolysis*.

Spray pyrolysis dilakukan pada reaktor yang terdiri dari pembangkit droplet yang disebut *nebulizer* atau *atomizer*, reaktor berbentuk tabung dan penampung partikel. Tabung yang digunakan pada reaktor harus dari bahan yang tahan mendekati suhu 1000°C. Contoh bahan tersebut adalah alumina, *quartz* dan bisa juga *stainless steel*.

Droplet yang dihasilkan dialirkan masuk ke dalam tabung yang telah di set pada suhu tinggi dengan menggunakan *carrier gas*. Karena ukuran droplet yang kecil maka dengan cepat pelarut menguap habis sesaat setelah masuk disekitar ujung tabung reaktor dan tersisa mineral prekursor dalam bentuk padatan yang tetap mengalir bersama *carrier gas*. Karena berada dalam suhu tinggi maka terjadi pirolisis pada partikel dan sebelum meninggalkan reaktor telah terbentuk partikel sesuai dengan yang diharapkan. Partikel yang dihasilkan dikumpulkan pada kolektor partikel. Permasalahan utama dalam metode ini adalah sulit dalam pengontrolan morfologi dari produk.

Spray pirolisis dikembangkan dengan dua metode yaitu metode *liquid-solution* dan metode *gas-phase reaction*. Keuntungan dari metode *liquid solution reaction* adalah mampu mengendalikan komposisi dari serbuk oksida multi komponen sedangkan keuntungan dari metode *gas-phase reaction* adalah mampu mengendalikan atau mengatur morfologi dari kristal.

Spray pirolisis juga telah diaplikasikan untuk membuat Ag-ZnO serbuk sebagai fotokatalis untuk pembuatan fotokatalis. Salah satu keuntungan *spray* pirolisis adalah tidak diperlukannya proses lebih lanjut seperti filtrasi, pengeringan dan kalsinasi namun kelemahannya hampir sama dengan *flame synthesis* yaitu dibutuhkan suhu yang sangat tinggi untuk melakukan dekomposisi serta dibutuhkan *solvent* pada reaksi agar didapatkan produk yang diinginkan.

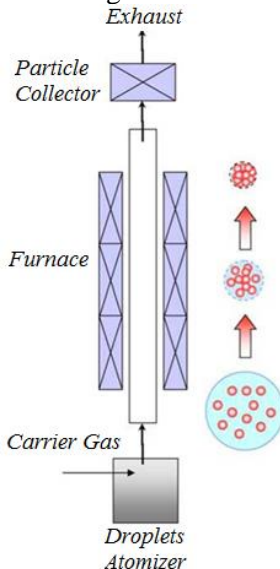


Gambar 2.5 Contoh Proses *Spray Pyrolysis* dalam pembuatan Ag-TiO₂ (Zhao et al., 2014)

2.3.4 *Spray Drying*

Spray drying diawali dengan mengionisasi suspensi *droplet* yang diikuti oleh proses pengeringan, menghasilkan partikel padat (Masters, 1991). *Spray drying* adalah metode pengeringan yang efisien karena dapat digunakan luas permukaan yang besar untuk perpindahan panas dan massa sebagai akibat dari atomisasi cairan menjadi *droplet* yang sangat kecil dari orde puluhan sampai ratusan mikrometer (Fareed, 2003). *Spray drying* berhasil digunakan di industri farmasi untuk menghasilkan produk dengan sifat fisik dan kimia yang ditentukan. Dalam teknologi pengolahan makanan, metode *spray drying* banyak digunakan di industri manufaktur (misalnya telur kering, susu bubuk, pakan ternak, campuran kue, jus jeruk, sirup jagung, *creamer*, konsentrat ikan, formula bayi, kentang, mentega putih, turunan pati, *puree* tomat, ragi, dan yogurt). Dalam pengolahan material, *spray drying* telah digunakan untuk menghasilkan partikel bubuk submikrometer - mikrometer untuk partikel logam, semikonduktor dan oksida dengan bentuk bola yang tidak teraglomerasi dan memiliki ukuran yang hampir seragam (*monodisperse*), dengan ukuran partikel terkontrol (Okuyama dan Lenggoro, 2003). Bubuk yang berbentuk bulat memiliki peran sangat penting karena, secara umum, sifat rheologinya lebih baik daripada bubuk yang tidak beraturan (Luo dan Nieh, 1995).

Untuk menghasilkan *droplet*, umpan cair dapat diatomisasi oleh *rotary disk*, *two-fluid nozzles* atau *ultrasonic nebulizer*, tergantung pada ukuran *droplet* yang dibutuhkan. *Droplet* disemprotkan ke dalam ruang pengeringan yang dipanaskan hingga mencapai suhu di atas suhu penguapan pelarut menggunakan gas pembawa. Waktu yang diperlukan untuk mengeringkan *droplet* tergantung pada waktu tinggal *droplet* dalam fase gas, yang, pada gilirannya, ditentukan oleh geometri ruang, laju alir gas pembawa, suhu dan tekanan. Kumpulan bubuk bisa diraih dengan menggunakan *cyclone*, *filter bag* atau *electric field precipitator*. Gambar 2.6 menunjukkan diagram skematik reaktor spray drying.



Gambar 2.6 Skema peralatan *spray drying* yang terdiri dari *ultrasonic nebulizer* untuk menghasilkan *droplet*, pengering untuk penguapan pelarut, sumber gas pembawa untuk membawa *droplet* ke pengering dan pengumpul bubuk (Okuyama dkk, 2006).

Karena kesederhanaan dan pemrosesannya yang cepat, *spray drying* memiliki potensi besar untuk pembentukan material yang kaya dengan sifat unggul. Partikel berukuran mikrometer lebih

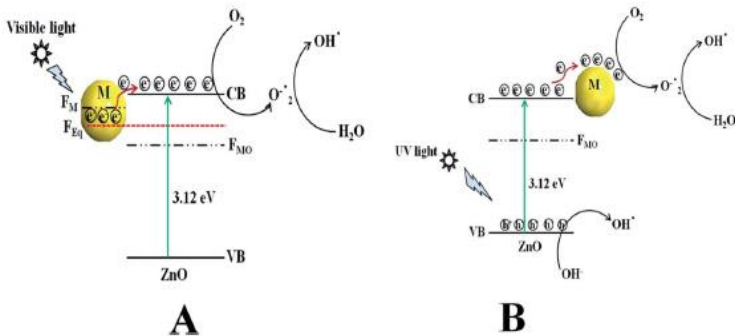
mudah ditangani daripada partikel berukuran nanometer. Selama proses, *spray temperature* biasanya tidak terlalu tinggi dan waktu tinggal partikel sangat pendek sehingga setelah penyemprotan, sifat yang melekat pada nanopartikel tidak berubah banyak. Misalnya, bila menggunakan air sebagai media pendispersi, suhu operasi sekitar 150 °C cukup untuk mencairkan *droplet* dalam beberapa detik. Selain itu, meskipun suhu udara untuk pengeringan bisa diatur hingga pada suhu yang relatif tinggi, suhu penguapan *droplet* sebenarnya lebih rendah secara signifikan karena pendinginan, sebagai akibat dari panas laten penguapan. Selama penyemprotan, uap air yang menguap membentuk lapisan di sekitar *droplet*, yang menyerap sebagian besar panas. Umumnya, suhu rata-rata *droplet* adalah 15-20 °C di bawah suhu lingkungan sekitar (Broadhead dkk, 1992). Dengan demikian, *spray drying* juga menguntungkan untuk memproduksi bahan berukuran mikrometer dengan titik leleh yang rendah seperti lipid yang digunakan dalam bidang *drug delivery*.

2.4 Mekanisme Fotokatalis

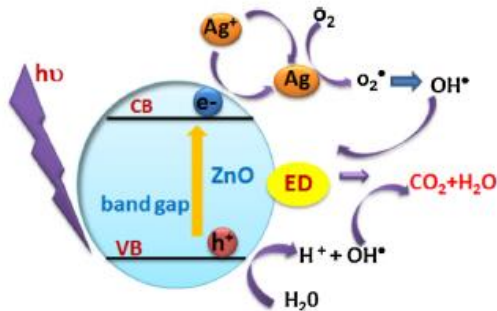
Pada dasarnya fotokatalis biasanya digunakan untuk mendegradasi polutan organik agar dibuang ke lingkungan dalam kondisi yang aman dan tidak beracun bagi kehidupan sekitar. Pada ZnO sebagai material UVLD (*UV-Light Driven*), elektron didalam VB (Valence Band) bergerak menuju ke CB (Covalence Band), dikarenakan adanya sinar UV yang menggerakkan elektron tersebut, yang kemudian meninggalkan lubang H^+ pada VB. Elektron yang bergerak ke CB kemudian bereaksi dengan oksigen terlarut sehingga membentuk anion superoksida radikal ($O_2^{\cdot-}$) yang kemudian bereaksi dengan air (H_2O) sehingga membentuk OH^{\cdot} dan pada waktu yang bersamaan lubang pada VB (H^+) bereaksi dengan OH^{\cdot} atau molekul H_2O yang terserap untuk membentuk OH^{\cdot} radikal. $O_2^{\cdot-}$ dan OH^{\cdot} inilah yang bertanggung jawab untuk melakukan degradasi. Adanya logam mulia seperti Ag ataupun Au secara efektif menyerap elektron yang berada pada CB sehingga mencegah terjadinya rekombinasi secara langsung (Fageria et al., 2015). Elektron yang berada pada Ag tidak akan kembali lagi

karena adanya perbedaan energi (*fermi level*) dimana levelnya lebih kecil dibanding Ag sehingga transfer elektron dan energi dari Ag ke ZnO tidak akan terjadi (Bouzid et al., 2014).

Menurut Fageria et al. pada penelitiannya terdapat 2 mekanisme fotokatalis dalam Ag/ZnO yaitu yang pertama adalah digunakan sinar UV untuk melakukan fotokatalis seperti yang dijelaskan diatas dan menggunakan sinar tampak karena adanya Ag yang menempel pada permukaan ZnO. Adanya Ag ataupun Au yang memiliki energi fermi yang lebih tinggi sehingga terjadi transfer elektron hingga energi ferminya mencapai *equilibrium*. Adanya sinar tampak membuat elektron pada *fermi equilibrium* diinjeksi ke CB via mekanisme *Surface Phonon Resonance* (SPR) yang kemudian bereaksi dengan oksigen terlarut membentuk $O_2^{\cdot -}$ dan OH^{\cdot} bila $O_2^{\cdot -}$ bereaksi dengan H_2O yang kemudian untuk selanjutnya bereaksi dengan polutan organik (Fageria et al., 2015).



Gambar 2.7 Mekanisme Fotokatalis Ag/ZnO (A) Mekanisme pada Sinar Tampak (B) Mekanisme pada Sinar UV (Fageria et al., 2015)

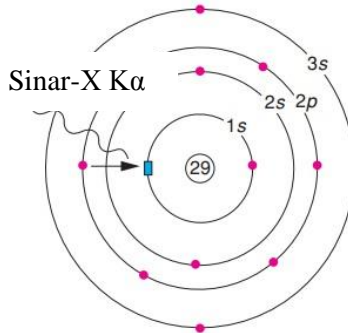


Gambar 2.8 Mekanisme Fotokatalis Terhadap Polutan Organik oleh Bechambi et al.

2.5 Metode Analisa

2.5.1 Difraksi Sinar-X

Difraksi sinar-X digunakan untuk menentukan fase kristal dari suatu material. Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang 10^{-10} m. Pada difraksi sinar-X, sinar-X dihasilkan ketika elektron, yang dihasilkan dari filamen tungsten (W), dipercepat terhadap anoda dengan beda potensial 30 kV. Elektron mengenai logam target, seringkali digunakan Cu. Elektron yang dihasilkan mempunyai energi yang cukup untuk mengionisasi beberapa elektron Cu 1s (dari kulit K) (Gambar 2.13). Elektron dari orbital yang paling luar (2p atau 3p) kemudian turun untuk mengisi kekosongan dari kulit 1s dan energi yang dilepas saat terjadi transisi elektron disebut sebagai sinar-X. Energi yang dihasilkan dari transisi elektron mempunyai nilai yang pasti dan spektrum dari karakteristik sinar-X terbentuk. Untuk Cu, transisi 2p ke 1s, disebut $K\alpha$, mempunyai panjang gelombang 1,5418 Å dan transisi 3p ke 1s, $K\beta$, mempunyai panjang gelombang 1,3299 Å.



Gambar 2.9 Elektron dari kulit 1s terionisasi; elektron dari kulit 2p mengisi kekosongan elektron dari kulit 1s kemudian melepas energi yang disebut sinar-X (West, 2014).

Berdasarkan pendekatan hukum Bragg untuk menganalisis dari difraksi sinar-X adalah dengan menganggap kristal yang disusun dalam bidang. Beberapa sinar-X direfleksikan dengan sudut yang sama dengan sinar datang. Penurunan dari hukum Bragg seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Dua sinar, 1 dan 2, direfleksikan dari bidang yang sejajar, yaitu bidang A dan B. Sinar 2-2' melalui jarak xyz yang lebih panjang dibandingkan dengan sinar 1-1'. Jarak tegak lurus antara bidang yang sejajar, d , dan sudut datang, θ , berhubungan dengan jarak xy , seperti persamaan berikut:

$$xy = yz = d \sin \theta \quad (2.1)$$

sehingga,

$$xyz = 2 d \sin \theta \quad (2.2)$$

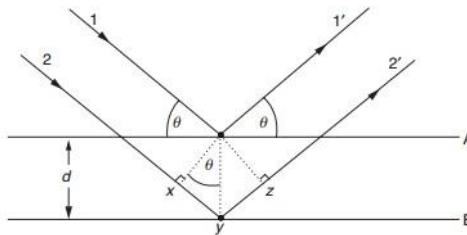
namun

$$xyz = n\lambda \quad (2.3)$$

sehingga,

$$2 d \sin \theta = n\lambda \quad (2.4)$$

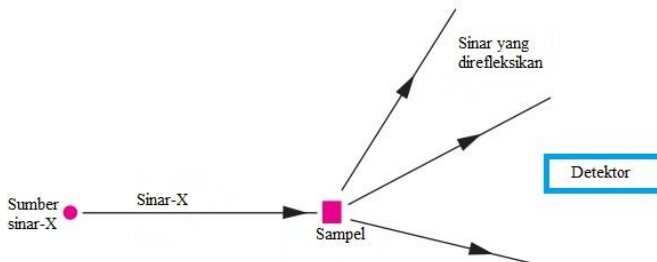
Persamaan 2.4 disebut dengan Hukum Bragg. Dimana $n = 1, 2, 3$, dan seterusnya.



Gambar 2.10 Ilustrasi Hukum Bragg (West, 2014).

Dalam praktiknya, difraksi sinar-X membutuhkan sumber sinar-X, sampel yang akan dianalisis dan sebuah detektor seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.15. Sehingga, tiga variabel yang menentukan dalam analisis menggunakan difraksi sinar-X adalah :

- (a) Radiasi – monokromatik atau variabel panjang gelombang
- (b) Sampel – kristal tunggal, bubuk atau padatan
- (c) Detektor – penghitung radiasi

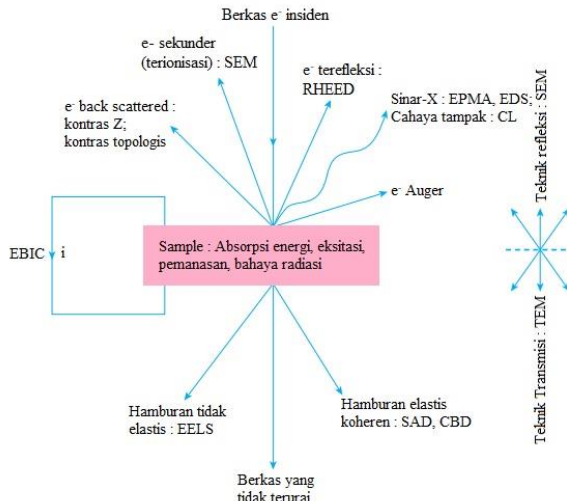


Gambar 2. 11 Ilustrasi Eksperimen Difraksi Sinar-X
(West, 2014).

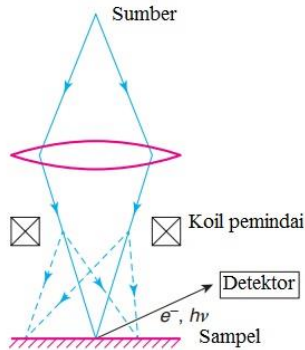
2.5.2 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Dalam SEM, elektron dari *elektron gun*, yang dipercepat dengan energi 5-50 keV, difokuskan pada titik kecil pada permukaan sampel yang berdiameter 50-500 Å. Berkas elektron memindai sampel, seperti bercak pada layar televisi; Berkas elektron biasanya mampu menembus sampel sampai kedalaman 1

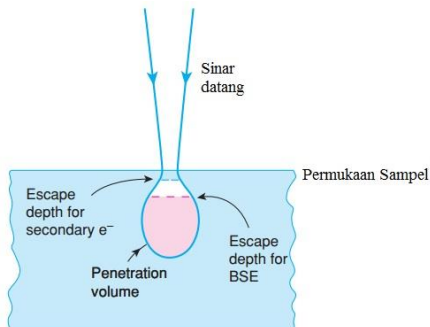
μm . Kedalaman yang ditempuh oleh elektron dan radiasi yang keluar dari sampel bergantung pada energinya. Elektron *back-scattered*, bisa keluar dari daerah sampel yang lebih tebal asalkan mereka menghindari tumbukan sekunder setelah terjadi *back-scattering* awal (Gambar 2.18). Kedalaman yang ditempuh oleh elektron sekunder terionisasi atau radiasi yang dipancarkan (sinar-X dan cahaya tampak) menjadi lebih dangkal karena memiliki energi yang jauh lebih sedikit daripada berkas sinar datang. Elektron yang masuk menembus sampel lebih dalam kehilangan energinya karena getaran kisi atau kerusakan radiasi dan tidak dapat keluar dari sampel. Dalam SEM, elektron yang masuk tidak bisa menembus sampel secara keseluruhan seperti instrumen TEM dan STEM. Untuk itu, digunakan sampel yang lebih tipis (TEM) atau elektron yang masuk dengan energi yang lebih tinggi (STEM). Batas bawah resolusi instrumen SEM adalah mendekati 100 \AA . Instrumen STEM mengombinasikan fitur pemindaian SEM dengan resolusi lebih tinggi yang sejatinya bisa didapat dengan TEM.



Gambar 2.12 Sinyal Refleksi dan Transmisi Pada SEM (West, 2014)

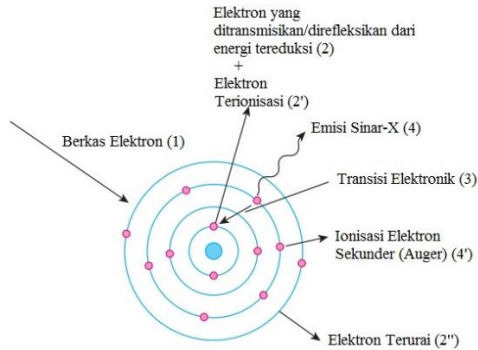


Gambar 2.13 Prinsip SEM (West, 2014)



Gambar 2.14 Kedalaman yang Ditembus oleh SE dan BSE (West, 2014)

Saat menembakan elektron pada sampel dalam SEM, partikel dan radiasi dengan rentang energi yang lebar, yang keluar dari sejumlah proses bisa dideteksi (Gambar 2.19 dan Gambar 2.16). Termasuk juga elektron sekunder yang keluar dari proses absorpsi dan re-emisi; elektron *back-scattered*, dengan sedikit kehilangan energi; elektron yang disebarkan secara atau yang diuraikan; elektron Auger dengan energi khas; sinar X, karakteristik dan radiasi putih (atau Bremsstrahlung); dan cahaya tampak (West, 2014).

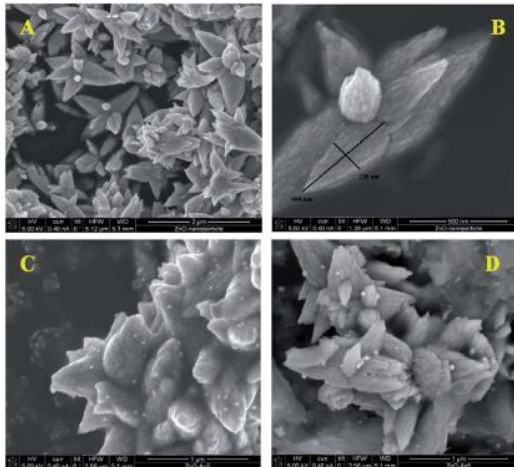


Gambar 2.15 Proses yang Terjadi saat Elektron Ditembakkan ke Sampel (West, 2014).

2.6 Penelitian Terdahulu

Sebagai semikonduktor yang memiliki banyak potensi, beberapa tahun belakangan ini banyak peneliti yang meneliti ZnO yang dimana digunakan untuk fotokatalis untuk meningkatkan nilai efisiensi dari ZnO itu sendiri. Banyak cara yang dilakukan sebagai contoh dengan mengubah struktur dari ZnO itu sendiri ataupun dengan menambahkan logam mulia seperti perak (Ag) ataupun emas (Au).

Salah satu penelitian untuk meningkatkan efisiensi dari ZnO dilakukan oleh Frageria et al. pada tahun 2014 dengan metode *one-step synthesis* yang disebut oleh Frageria et al. dengan metode *surfactant mediated route* dimana digunakan bubuk ZnO dan CTAB (*cetyltrimethylammonium bromide*) yang digunakan sebagai agen kontrol untuk membentuk partikel *nanoflower* ZnO, kemudian ditambahkan *hydrazine hydrate* sebagai agen pereduksi yang kemudian ditambahkan AgNO_3 atau HAuCl_4 agar Ag atau Au dapat tertempel pada permukaan ZnO. Hasil yang didapatkan adalah partikel berbentuk seperti bunga dengan adanya Ag atau Au di permukaan partikelnya.



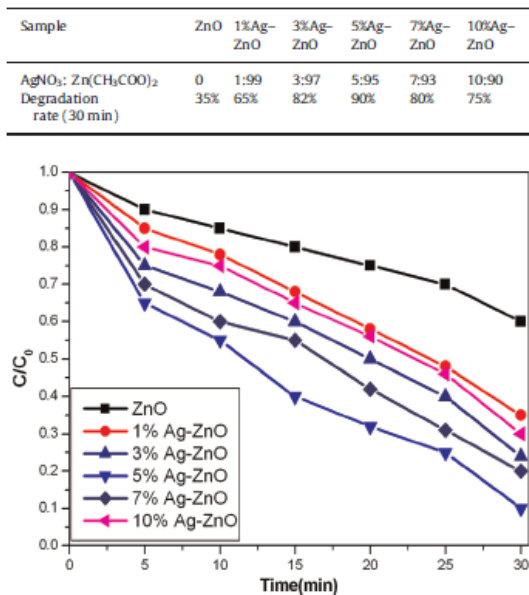
Gambar 2.16 Hasil analisa SEM dari ZnO (A) (B) Perbesaran Partikel ZnO (C) Partikel ZnO yang Ditambahkan Au (D) Partikel ZnO yang Ditambahkan Ag (Frageria et al., 2014)

Untuk hasil pada fotokatalis, didapatkan hasil dimana ZnO murni memiliki waktu yang paling lama untuk mendegradasi MB dibanding dengan Ag/ZnO dan Au/ZnO dan juga didapatkan bahwa Au/ZnO memiliki efisiensi 20x lebih besar dibanding Ag/ZnO dibawah lampu tungsten (sumber sinar tampak) dan bila pada degradasi polutan organik yaitu fenol didapat nilai efisiensi Au/ZnO 2.5x lebih besar dibanding Ag/ZnO dibawah sinar matahari dengan hasil degradasi selama 6 jam untuk Au/ZnO sebesar 96% dan Ag/ZnO sebesar 72%

Penelitian lainnya dalam memodifikasi permukaan ZnO dilakukan oleh Bouzid et al. pada tahun 2014 dengan membuat kristal Ag/ZnO yang mesoporus dengan metode sol-gel. Dimana didapat hasil bahwa semakin besar penambahan Ag pada ZnO maka nilai *band gap* nya akan semakin kecil dan didapatkan nilai banyaknya penambahan Ag yang optimum pada permukaan ZnO sebesar 1% berat. Hal ini didapatkan setelah dilakukan penelitian degradasi MB dengan penambahan Ag pada ZnO sebesar 0.5%, 1%,

3% dan 10% berat dan didapatkan hasil yang hanya memiliki beda yang sangat tipis antara 1%, 3% dan 10%.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Zhai et al. pada tahun 2014 dengan menggunakan metode *solvothermal process* dengan variabel perbandingan rasio mol Ag terhadap ZnO yaitu 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, dan 10%. Dan didapat hasil bahwa 5% mol rasio Ag/ZnO mendapatkan hasil terbaik dibanding penambahan Ag yang lebih sedikit maupun yang lebih banyak. Banyaknya penambahan Ag mengurangi efektifitas, hal ini dikarenakan Ag memiliki kemungkinan untuk menjadi pusat rekombinasi *photo-generated electron* dan lubang sehingga menjadi tidak konduktif untuk pemisahan lubang elektron sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis.



Gambar 2.17 Hasil Degradasi RhB oleh ZnO dan Ag/ZnO Selama 30 Menit (Zhai et al., 2014)

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Sohrabnezhad dan Seifi pada tahun 2016 dengan menggunakan ekstrak dari tanaman

urtica dioica sebagai agen pereduksi. Dilakukan juga penambahan perak (Ag) dan 1% MMT (*montmorillonite*) untuk meningkatkan efisiensi dari aktifitas fotokatalis ZnO dan didapatkan hasil degradasi dari MB dalam waktu 50 menit yang paling besar adalah dengan menggunakan Ag/ZnO-MMT dengan hasil degradasi sebesar 82.5% dibanding dengan Ag/ZnO yang hanya sebesar 37.57%.

Selain penelitian diatas banyak penelitian mengenai semikonduktor fotokatalis UVLD (*UV-Light Driven*) terutama ZnO untuk meningkatkan efisiensi dari aktifitas fotokatalisnya agar dapat juga digunakan pada sinar tampak atau *visible light*. Tabel dibawah menunjukan ringkasan dari penelitian-penelitian sebelumnya untuk ZnO yang dimodifikasi untuk meningkatkan kemampuan fotokatalisnya :

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Judul	Metode	Hasil / Keterangan
Fageria et al. (2014)	<i>Synthesis of ZnO/Au and ZnO Nanoparticles and Their Photocatalytic Application Using UV and Visible Light</i>	Metode <i>surfactant mediated route</i>	Penambahan Ag atau Au menambah efisiensi fotokatalis ZnO dan penambahan Au lebih efektif dibanding Ag
Bouزيد et al. (2014)	<i>Synthesis of Mesoporous Ag/ZnO Nanocrystals with Enhanced Photocatalytic Activity</i>	Metode Sol-Gel	Hasil optimum pada Ag/ZnO 1% wt dan didapatkan pula hasil semakin banyak Ag maka efektifitas makin besar

Sohrabnezhad dan Seifi (2016)	<i>The Green Synthesis of Ag/ZnO in Monmorillonite with Enhanced Photocatalytic Activity</i>	Metode <i>green method</i> dengan menggunakan <i>urtica dioica</i>	Penambahan Ag + MMT dan didapat hasil Ag/ZnO MMT memiliki efektifitas paling besar
Liu et al. (2015)	<i>Synthesis of Spherical Ag/ZnO Heterostructural Composites with Excellent Photocatalytic Activity Under Visible Light and UV Radiation</i>	Metode <i>two-steps chemical</i>	Dengan metode tersebut didapat hasil bahwa Ag/ZnO dengan konsentrasi 0.1 M berhasil mendegradasi RhB hingga 97% dalam 180 menit dengan k 10 kali lebih besar dibanding ZnO
Wang et al. (2012)	<i>Microwave-assisted Synthesis and Photocatalytic Performance of Ag-doped Hierarchical ZnO Architectures</i>	Metode <i>microwave</i>	Didapatkan hasil Ag/ZnO 1% wt berhasil mendegradasi 99% RhB dalam 120 menit dibanding dengan ZnO yang hanya 36% dalam waktu yang sama
Zhai et al. (2014)	<i>Direct Sunlight Responsive Ag-ZnO Heterostructure : Enhanced Degradation of Rhodamine B</i>	Metode <i>solvothermal process</i>	Didapatkan hasil 5% mol rasio dari Ag/ZnO berhasil mendegradasi 90% dari RhB dalam 30 menit dan didapatkan juga hasil 5% mol rasio memiliki efektifitas lebih besar

			dibanding ZnO dan 10% Ag/ZnO
Bechambi et al. (2015)	<i>Photocatalytic Activity of ZnO Doped with Ag on The Degradation of Endocrine Disrupting under UV Irradiation and The Investigation of its Antibacterial Activity</i>	Metode hydrothermal process	Didapatkan hasil 1% mol rasio dari Ag/ZnO merupakan yang paling efektif dalam mendegradasi BPA dan NP (H ₂ O ₂) dan juga didapatkan hasil Ag/ZnO lebih antibakteri dibanding ZnO murni
Steven, dkk (2017)	<i>Fabrikasi Ag-Zno Nanocomposite Dengan Menggunakan Pirolisa Flame Untuk Aplikasi Material Fotokatalitik</i>	Metode Pirolisa Flame	Penambahan Ag 5% memiliki efisiensi yang lebih besar. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi ZnO (0.15 M) dapat mendegradasi lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi ZnO (0.1 M) baik pada kondisi sinar UV ataupun pada sinar matahari.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis partikel nanokomposit Ag-ZnO dengan menggunakan metode *flame pyrolysis*, serta untuk mengetahui pengaruh dari variasi konsentrasi *doping* Ag terhadap ukuran, bentuk partikel dan sifat *optic* partikel. Larutan prekursor dipersiapkan dengan cara membentuk *Zinc Oxide* dari *Zinc Acetate Dihydrate* dan *Silver Nitrate*. Setelah itu, larutan diletakkan ke *Ultrasonic Nebulizer* untuk dihasilkan droplet dan partikel yang terbentuk dikumpulkan dalam *Powder Collector* dengan menggunakan *Electrostatic Precipitator*. Hasil partikel yang terbentuk kemudian divalidasi secara kualitatif dan kuantitatif melalui beberapa analisa yaitu SEM, BET, TEM, XRD dan Uji fotokatalitik. Aktivitas fotokatalitik dari partikel yang terbentuk juga dianalisa dengan cara mengukur daya degradasi fotokatalitik larutan *Methylene Blue* di bawah sinar UV dan sinar matahari langsung.

3.1 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.1.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Kristal *Zinc Acetate Dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 99,5% (E. Merck, D-6100 Darmstadt, F.R. Germany)
2. Kristal *Silver Nitrate* (AgNO_3)
3. Gas LPG 12 kg (propana 30% dan butana 70%)
4. Udara
5. *Methylene Blue* bubuk ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$)
6. Silika gel
7. Aquadest

3.1.2 Peralatan Penelitian

3.1.2.1 Peralatan Reaktor *Flame Pyrolysis*

Rangkaian alat *flame pyrolysis* yang digunakan di dalam penelitian ini adalah :

1. *Flowmeter* (KOFLOC 1200) berfungsi sebagai pengukur laju aliran udara (*carrier gas*) dan LPG.
2. *Ultrasonic Nebulizer* (Omron, NE-U17) berfungsi sebagai penghasil *droplet* larutan *precursor* yang akan dialirkan menuju *burner*. Alat ini dioperasikan pada frekuensi 1,7 MHz dan dihubungkan dengan aliran udara dari kompresor.
3. *Peristaltic Pump* (Eyela Micro Tube Pump MP-3N) berfungsi untuk mengalirkan larutan prekursor ke dalam *nebulizer*.
4. *Tubular Glass Reactor* berfungsi sebagai badan *reactor* utama dalam proses *pyrolysis*.
5. *Burner* yang berfungsi sebagai sumber api pada *reactor* yang dibutuhkan untuk reaksi *pyrolysis*. *Burner* yang digunakan adalah *tubular burner* yang dilengkapi dengan *side entering fuel* dan *oxygen*, dan *co-current droplet flow*.
6. *Powder Collector* yang berfungsi untuk menangkap partikel yang dihasilkan pada proses *flame pyrolysis*. Alat ini dilengkapi dengan *electrostatic precipitator* yang dialiri *voltage* tinggi dengan bantuan DC *High Voltage* serta dilakukan pemanasan dengan bantuan *heater jacket*.
7. *Condensor* yang berfungsi untuk mendinginkan udara panas yang keluar dari *Powder Collector*, berupa *spiral glass condenser* yang dilengkapi dengan pompa dan *chiller*.
8. *Water trap (homemade)* berfungsi untuk menampung kondensat dan menangkap uap air, larutan serta partikel yang masih lolos dari *electrostatic precipitator* sehingga tidak merusak *vacuum pump*.
9. Kompresor (Hitachi Bebicon) yang dilengkapi dengan *oil filter* dan *lubricator* berfungsi sebagai sumber udara dan meningkatkan tekanan udara sehingga udara sebagai *carrier gas* dapat mengalir menuju *ultrasonic nebulizer*.

10. *Magnetic Vacuum Pump* (Gast P504 BN) yang berfungsi menciptakan aliran pada rangkaian alat *flame pyrolysis*.
11. *Lightmeter* (Lutron LX 1102) yang berfungsi mengukur intensitas cahaya matahari pada uji fotokatalitik.

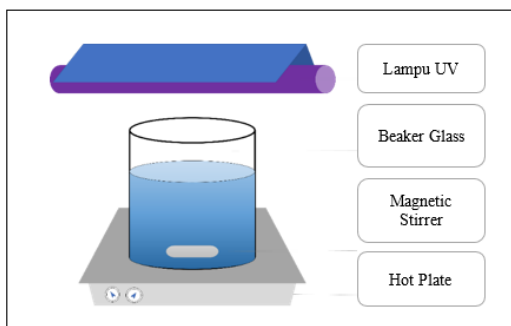


Gambar 3.1 Skema Rangkaian Alat *Flame Pyrolysis*

3.1.2.2 Peralatan Analisa Fotokatalitik

1. *Centrifuge* (One Med 0805-I) digunakan untuk memisahkan *supernatant* dari *solid* pada tiap interval

- Analisa sebelum diukur absorbansi-nya menggunakan spektrofotometer UV-Vis.
2. Spektrofotometer UV-Vis yang digunakan sebagai alat untuk mengukur absorbansi larutan *methylene blue* yang digunakan sebagai uji fotokatalitik.
 3. Rangkaian alat pada uji fotokatalitik meliputi: Lampu UV (10 watt) sebagai sumber cahaya dan *Stirrer* sebagai media homogenasi larutan.



Gambar 3.2 Skema Rangkaian Alat Uji Fotokatalitik

3.2 Variabel dan Kondisi Operasi Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah konsentrasi *doping* Ag untuk tiap konsentrasi larutan sebesar 0; 0,01; 0,05; 0,1; 1; 5; 10% dan 20 % berat. Serta variasi penambahan berat Ag dalam analisa fotokatalitik yang digunakan adalah 2 mg, 4 mg, 6 mg, 8 mg, dan 10 mg.

Parameter kondisi operasi pada penelitian ini meliputi: laju alir LPG sebesar 0,3 L/menit; laju alir *Carrier Gas* sebesar 3 L/menit, dan laju alir *oxidizer* sebesar 2,8 L/menit, serta mengontrol *volume* larutan *precursor* sebesar 30 ml dalam *Ultrasonic Nebulizer*. Adapun untuk konsentrasi larutan prekursor adalah 0.1 M, tekanan operasi : 1 atm dan suhu *electrostatic precipitator* : 120°C.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi 3 tahap yaitu:

1. Persiapan Bahan Baku
2. Proses Pembuatan Partikel (*Flame Pyrolysis*)
3. Analisa Hasil Partikel

3.3.1 Prosedur Persiapan Bahan Baku

Larutan *precursor* dipersiapkan dengan melarutkan Kristal *Zinc Acetate Dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.1M dengan *aquadest*, dengan proses homogenasi menggunakan sonikator selama 10 menit. Kemudian *Silver Nitrate* (AgNO_3) dengan variasi konsentrasi *doping* Ag untuk tiap konsentrasi larutan sebesar 0; 0.01; 0.05; 0.1; 1; 5 dan 20% dilarutkan ke dalam larutan *Zinc Acetate Dihydrate* diikuti proses homogenasi kembali selama 10 menit. Larutan *precursor* kemudian dimasukkan ke dalam *Ultrasonic Nebulizer*.

3.3.2 Prosedur Pembuatan Partikel

Terlebih dahulu dilakukan pemanasan *powder collector* dengan bantuan *heater jacket* hingga mencapai suhu 120°C , kemudian menyalakan *condenser pump*, *vacuum pump*, dan kompresor untuk mengatur aliran LPG, *carrier gas*, dan *oxidizer* sesuai dengan parameter di atas untuk mendapatkan nyala api biru dan stabil. Lalu menyalakan *DC High Voltage*, mengatur *voltage* menjadi 40 kVa dan menyalakan *ultrasonic nebulizer*. Larutan *precursor* akan dinebulasi, menghasilkan *droplet* yang mengalir dan berkontak dengan api pada *burner*, sehingga terbentuk partikel Ag-ZnO yang ditangkap dengan adanya listrik tegangan tinggi pada *powder collector*. Pada *ultrasonic nebulizer* larutan *precursor* dijaga hingga *volume* konstan, sehingga diperlukan *peristaltic pump* untuk mengalirkan larutan *precursor*. Partikel yang tertangkap pada *powder collector* dikumpulkan untuk dianalisa lebih lanjut.

3.3.3 Prosedur Analisa Partikel

Terdapat beberapa Analisa yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu: SEM, BET, TEM, XRD, dan uji fotokatalitik. Analisa SEM digunakan untuk mengetahui morfologi partikel, BET digunakan untuk mengetahui *surface area*, dan TEM digunakan untuk mengetahui struktur dan komposisi partikel. Sedangkan XRD digunakan untuk mengetahui struktur partikel, dan uji fotokatalitik untuk mengetahui daya fotokatalis dari partikel Ag-ZnO dalam mendegradasi zat warna *methylene blue*.

Uji Fotokatalitik dilakukan dengan 2 media cahaya yaitu sinar matahari dan lampu UV. Terlebih dahulu dilakukan dengan membuat larutan induk *methylene blue* dengan konsentrasi 250 ppm, yang kemudian diencerkan untuk dibuat kurva kalibrasi dengan bantuan Spektrofotometer UV-Vis. Dalam membuat kurva kalibrasi, didapatkan panjang gelombang optimum untuk *methylene blue* sebesar 665 nm. Dengan panjang gelombang serupa, dibuat kurva kalibrasi dengan cara mengukur absorbansi larutan *methylene blue* yang telah diencerkan menjadi 2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14 ppm. Kurva tersebut berguna untuk mengetahui konsentrasi larutan dengan absorbansi tertentu.

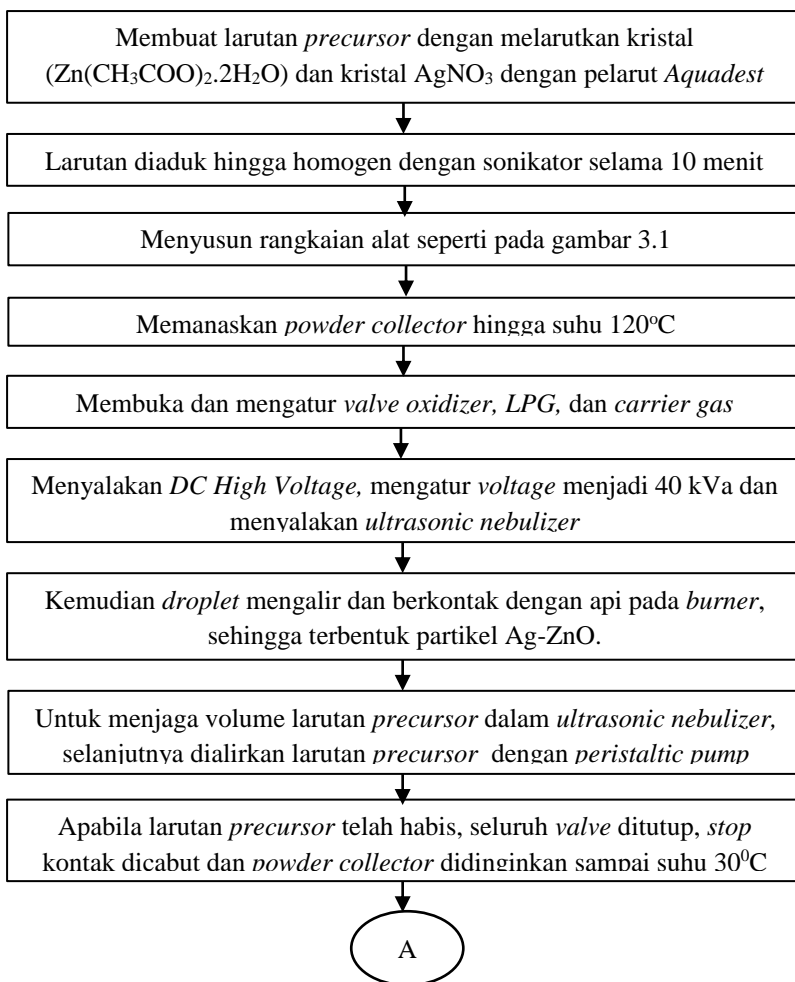
Proses uji fotokatalitis dilakukan dengan membuat 40 ml larutan *methylene blue* sebanyak variasi konsentrasi larutan Ag-ZnO dan variasi konsentrasi *doping* Ag. Larutan induk *methylene blue* diencerkan menjadi 10 ppm pada masing masing gelas dan ditambahkan partikel Ag-ZnO yang telah dibuat, lalu diaduk menggunakan *stirrer* selama 30 menit dalam kondisi tanpa terkena cahaya (gelap). Selain itu, dibuat juga larutan *methylene blue* 10 ppm tanpa penambahan partikel sebagai larutan pembanding (*base solution*).

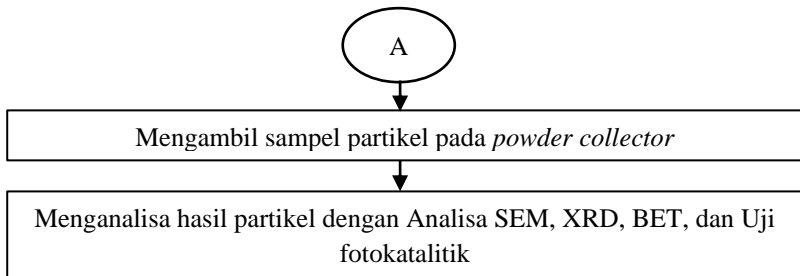
Pertama-tama, diambil 4 ml larutan pembanding dan diukur absorbansinya dan dengan kurva kalibrasi dapat diketahui konsentrasi awal larutan. Setelah itu, seperti pada gambar 3.2, larutan disinari dengan sinar matahari atau sinar UV disertai pengadukan konstan selama 75 menit. Masing-masing larutan diambil 4 ml pada setiap interval 15 menit dan diputar dengan

kecepatan 250 rpm dengan bantuan *centrifuge* selama 5 menit. *Supernatant* kemudian diukur absorbansi-nya dan dibuat grafik waktu vs. konsentrasi larutan untuk mendapatkan nilai konstanta laju reaksi degradasi *methylene blue*.

3.4 Diagram Alir Percobaan

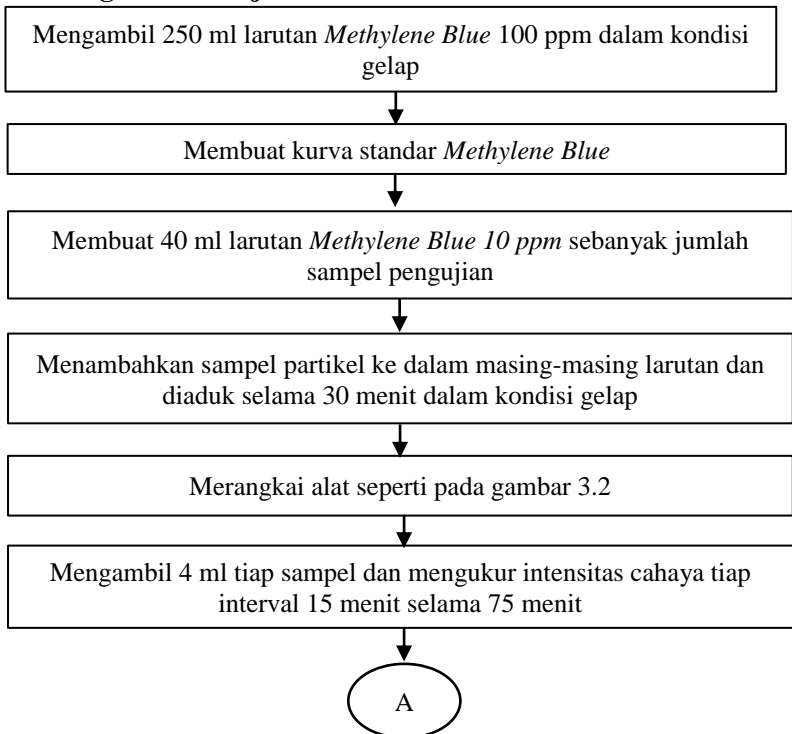
3.4.1 Diagram Alir Pembuatan Partikel

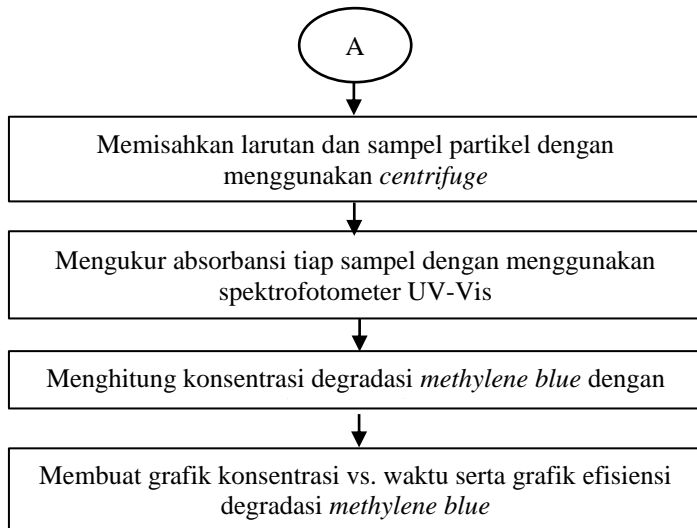




Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Partikel

3.4.2 Diagram Alir Uji Fotokatalitik





Gambar 3.4 Diagram Alir Uji Fotokatalitik

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

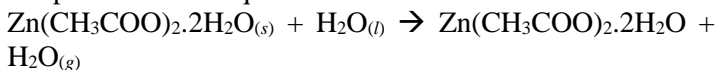
Penelitian ini mempelajari tentang pengaruh penambahan Ag terhadap performa dari aktifitas fotokatalitik terhadap karakteristik dan daya fotokatalitik nanopartikel ZnO dan Ag-ZnO serta pengaruh konsentrasi Ag dari AgNO₃ (perak nitrat) terhadap ZnO yang berasal dari Zn(CH₃COO)₂·2H₂O (zinc asetat dihidrat) dengan menggunakan metode *flame pyrolysis*.

Pada penelitian ini digunakan variable Zn(CH₃COO)₂·2H₂O pada konsentrasi 0.1 M dan untuk AgNO₃ digunakan 0.01%, 0.05%, 0.1%, 1%, 5%, 10% dan 20% dari massa Zn(CH₃COO)₂·2H₂O. Hasil eksperimen yang berupa nanopartikel kemudian diuji bentuk dan ukuran kristal serta fotokatalis dengan membandingkan antara ZnO dengan partikel Ag-ZnO dibawah sinar UV dan sinar matahari. Untuk mengetahui kemampuan fotokatalis dari tiap nanopartikel maka dilakukan uji fotokatalis dengan melihat laju degradasi dari *methylene blue* yang dengan memasukkan nanopartikel ZnO dan Ag-ZnO dan kemudian diletakkan dibawah sinar UV dan sinar matahari. Selanjutnya mengukur absorbansi larutan *methylene blue* dengan menggunakan spektrofotometer.

4.1 Pembuatan Larutan Prekursor

Pembuatan larutan prekursor dari material Zn(CH₃COO)₂·2H₂O (zinc asetat dihidrat) dan akuades serta dengan penambahan Ag dari AgNO₃ (perak nitrat). Pada penelitian ini digunakan metode *flame pyrolysis* sehingga dapat terbentuk ZnO dan Ag-ZnO dalam bentuk kristal (*solid*) dengan reaksi seperti berikut :

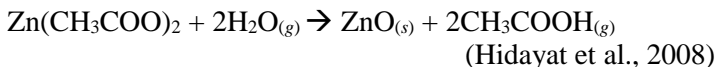
1. Evaporasi *solvent* aquades



2. Reaksi dekomposisi precursor



3. Reaksi interpartikel



Sedangkan untuk pembentukan Ag-ZnO sendiri terjadi reaksi seperti berikut didalam proses *flame pyrolysis* :

1. $\text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$
2. $\text{Ag}^+ + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{OH})_2^-$
3. $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} + \text{Ag}(\text{OH})_2^- \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}/\text{ZnO} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{OH}^-$
4. $\text{Ag}_2\text{O}/\text{ZnO} \rightarrow \text{Ag}/\text{ZnO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$

(Yang et al., 2011)

Laju aglomerasi partikel dapat dikendalikan yaitu mengontrol keseragaman konsentrasi larutan. Hal ini dilakukan dengan menjaga aliran larutan precursor agar tetap kontinyu menggunakan bantuan peristaltic pump. Dari penelitian yang dilakukan, ukuran diameter partikel dapat turun dalam range < 100 nm apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menghasilkan ukuran diameter partikel lebih besar yaitu 100-240 nm. Ukuran droplet yang dihasilkan atomizer sangat dipengaruhi oleh konsentrasi larutan precursor yang digunakan karena dapat mengubah secara tegangan permukaan maupun viskositas larutan. Makin kecil konsentrasi larutan maka makin sedikit jumlah zat terlarut dalam droplet yang menyebabkan makin kecil ukuran partikel yang dihasilkan. Jika konsentrasi droplet tidak terlalu tinggi maka setelah terbentuknya partikel, konsentrasi partikel di dalam aliran gas juga tidak tinggi. Peluang terjadinya tumbukan yang membuat partikel menyatu sangat kecil. Akibatnya tidak terjadi aglomerasi pada partikel yang dihasilkan (Khairurrijal, 2016).

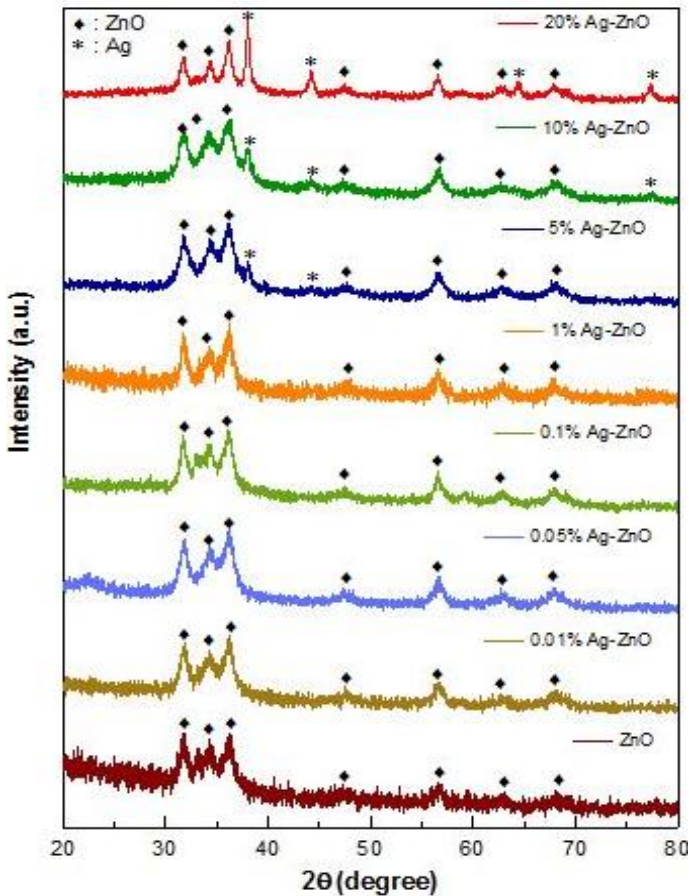
4.2 Kristalinitas Partikel ZnO

Kristalisasi adalah proses perubahan struktur material dari fasa amorf menjadi kristal. Kristalisasi merupakan proses pembentukan kristal yang terjadi pada saat pembekuan yaitu perubahan dari fasa cair ke fasa padat. Mekanisme kristalisasi dapat terjadi melalui dua tahap, yaitu pengintian dan pertumbuhan kristal. Kristalisasi dapat terjadi dengan pengerjaan dingin maupun

pengerjaan panas. Sebagai akibat dari pengerjaan dingin adalah sifat kekerasan, kekuatan tarik dan tahanan listrik akan naik, sedangkan keuletan akan menurun. Dalam keadaan cair, atom-atom tidak memiliki susunan yang teratur dan mudah bergerak. Dengan berkurangnya suhu, maka energi atom semakin rendah, sehingga atom sulit bergerak, selanjutnya atom mulai mengatur kedudukannya relatif terhadap atom lain. Hal ini terjadi pada daerah relatif dingin yang merupakan daerah awal terjadinya inti kristal. Proses pengintian selanjutnya terjadi pertumbuhan kristal yang berlangsung dari suhu rendah ke suhu yang lebih tinggi. Energi termal yang terus meningkat dapat mengakibatkan pertumbuhan kristal yang terus menerus hingga transformasi akhir, yaitu amorf menjadi kristal (Triwikantoro, 2002).

Tujuan analisa XRD dilakukan adalah untuk mengetahui kristalinitas, fase dan kemurnian dari partikel yang ada didalamnya dengan bantuan JCPDS serta mengetahui ukuran kristal (*crystalline size*) yang dihasilkan. XRD dilakukan di Teknik Metalurgi dan Material-FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan pengukuran sudut pendek (20° - 80°). Perangkat yang digunakan untuk analisa derajat kristalinitas dalam penelitian ini adalah *X-Ray Diffraction* (XRD) 40 Kv, 30 mA, X'pert Philips.

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan variabel 0.1 M $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan 0.01%, 0.05%, 0.1%, 1%, 5%, 10%, 20% AgNO_3 terhadap massa $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ didapatkan partikel ZnO dan Ag-ZnO. Hasil partikel yang diperoleh dilakukan analisa XRD untuk mengetahui derajat kristalinitas dan selanjutnya dibandingkan dengan JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) sebagai referensi komposisi partikel dan fasa dari kristal. Adapun JCPDS 36-1451 untuk ZnO dan JCPDS 04-0783 untuk metal Ag yang dapat dilihat dari hasil analisis XRD dibawah ini.



Gambar 4.1 Hasil analisa XRD nanopartikel Ag-ZnO

Berdasarkan grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dari hasil analisa XRD didapatkan kecocokan untuk JCPDS 36-1451 dengan hasil analisa XRD yang dapat dilihat dari adanya *peak* yang sangat mencolok antara sudut 30° - 40° yakni pada sudut 31.77° , 34.42° , 36.25° . Selain itu juga terlihat disekitar *peak* 47.54° , 56.60° , 62.87° , 66.38° , 67.96° , 69.10° , 72.67° , dan 76.96° . Hal ini menunjukkan adanya kandungan ZnO pada partikel yang dibuat

dengan menggunakan metode *flame pyrolysis* sehingga dapat disimpulkan bahwa metode sintesis *flame pyrolysis* dapat digunakan untuk membentuk nanopartikel ZnO dengan kandungan yang murni. Dari hasil analisa XRD diatas serta dengan mencocokkan dengan JCPDS maka dapat diketahui bahwa partikel ZnO yang terbentuk adalah ZnO dengan struktur kristal *hexagonal wurtzite* (w-ZnO) dengan diameter kristal yang bervariasi. Dimana pada penelitian sebelumnya disebutkan bahwa w-ZnO adalah struktur yang paling stabil dan paling sering dijumpai pada tekanan ambien atau normal dan fase termodinamika yang stabil (Wang, Ma, Jia, & Ji, 2012). Dari hasil analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa *Zinc Oxide* (ZnO) dapat disintesis dari prekursor *Zinc Asetat Dihydrate* dan didoping dengan Ag dengan metode pirolisa flame.

Pada gambar 4.1 juga dapat dilihat hasil nanokomposit Ag-ZnO dimana untuk melihat adanya Ag pada ZnO dapat dilihat dari JCPDS 04 - 0783 pada sudut 38.12° , 44.28° , 64.43° , 77.48° (Liu et al., 2015). Pada konsentrasi 0.1 M ZnO dengan penambahan Ag 0.01% hingga 1% seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.1 diatas tidak terlihat adanya peak pada sudut 38.12° , 44.28° , 64.43° , dan 77.48° , sehingga tidak adanya peak Ag pada nanokomposit Ag-ZnO ini dikarenakan kemungkinan terlalu kecilnya konsentrasi Ag yang membuat tidak terdeteksi oleh XRD. Namun pada penambahan Ag 5% pada ZnO terlihat adanya peak pada sudut 38.12° dan 44.28° yang menunjukkan adanya Ag pada ZnO. Pengaruh penambahan konsentrasi Ag yang semakin tinggi yaitu sebesar 10% dan 20% Ag akan menghasilkan intensitas yang semakin tinggi pada peak sudut 38.12° . Pada penambahan Ag 10% terlihat adanya peak pada sudut 38.12° , 44.28° , dan 77.48° yang menunjukkan adanya Ag pada ZnO. Selain itu, pada penambahan Ag 20% seluruh *peak* sudah terlihat pada sudut 38.1° , 44.2° , 64.3° , dan 77.2° . Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metode *flame pyrolysis* dapat digunakan untuk membuat nanokomposit Ag-ZnO. Adanya Ag pada sudut 38.12° menunjukkan bahwa Ag berbentuk FCC (*Face Center Cubic*). Dimana FCC ini merupakan suatu atom

yang membentuk suatu struktur kristal disetiap pojok kubus dan satu ditengah disetiap sisi kubus.

Selain digunakan untuk mengetahui fase dan kemurnian partikel, hasil analisa XRD juga digunakan untuk melihat diameter kristal. Berdasarkan data spektrum XRD didapatkan kualitas kristal dengan melihat FWHM (*Full Width Half Maximum*) dari grafik. Hasil analisa XRD yang digunakan untuk mencari diameter kristal dengan menggunakan *Scherrer equation* dengan rumus sebagai berikut.

$$Dp = \frac{k \tau}{\beta \cos \theta} \quad (4.1)$$

Dimana, k adalah konstan *Scherrer* yang memiliki angka 0.94, τ adalah panjang gelombang X-Ray dimana biasanya memiliki nilai 1.54178 \AA , β adalah FWHM atau *Full Width Half Maximum* yang merupakan lebar maksimum dari *peak* pada $\frac{1}{2}$ total tinggi dari *peak* dan θ adalah sudut *bragg*.

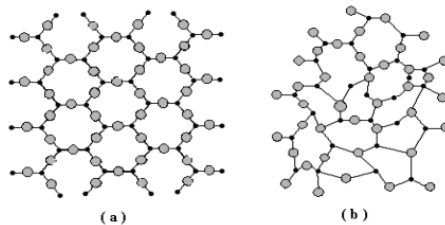
Tabel 4.1 Ukuran Diameter Kristal Ag-ZnO

Sampel		Diameter Ukuran Kristal (nm)
Kandungan ZnO	Kandungan Ag	
0.1 M	0%	3.26
	0.01%	2.28
	0.05%	5.69
	0.10%	3.25
	1%	5.69
	5%	5.70
	10%	1.63
	20%	9.11

Diameter kristal diatas dihitung dengan menggunakan *Scherrer equation* dan dapat dilihat bahwa hasil yang didapatkan sangat

bervariasi. Hal ini memperlihatkan adanya kemungkinan partikel yang teraglomerasi sehingga tidak dapat didapatkan hasil yang akurat dengan menggunakan *Scherrer equation*.

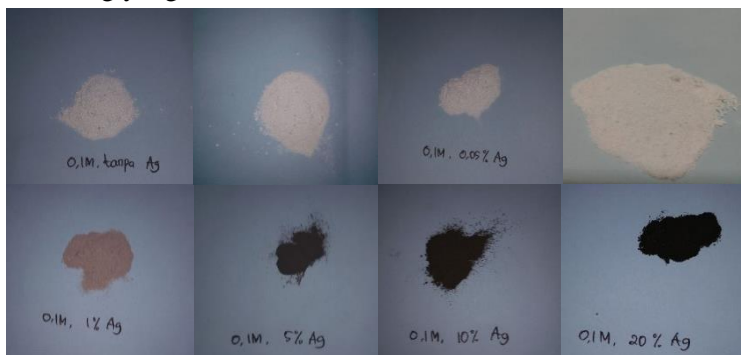
Kristal terbentuk dari komposisi atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul zat padat yang memiliki susunan berulang dan jarak yang teratur dalam tiga dimensi. Pada hubungan lokal yang teratur, suatu kristal harus memiliki rentang yang panjang pada koordinasi atom-atom atau ion dalam pola tiga dimensi sehingga menghasilkan rentang yang panjang sebagai karakteristik dari bentuk kristal tersebut. Struktur amorf menyerupai pola hampir sama dengan kristal, akan tetapi pola susunan atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang dimiliki tidak teratur dengan jangka yang pendek. Amorf terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya.



Gambar 4.2 Susunan atom kristal (a), (b) Susunan atom amorf
(Smallman, 1999: 13)

Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh sel satuan (unit cell) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara khusus, secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu kisi kristal (crystal lattice). Geometri kristal dalam ruang dimensi tiga yang merupakan karakteristik kristal memiliki pola yang berbeda-beda. Suatu kristal yang terdiri dari jutaan atom dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan yang berulang dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas dari suatu kristal.

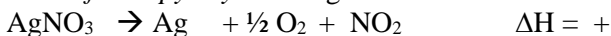
Dari hasil penelitian terlihat ukuran kristal dari Ag-ZnO yang bervariasi. Hasil partikel pada konsentrasi Ag 0.01% memiliki diameter kristal yang paling kecil yaitu sebesar 2.28 nm, sehingga memiliki luas permukaan yang paling luas dibandingkan dengan konsentrasi Ag yang lain. Hal ini tidak berpengaruh terhadap kemampuan fotokatalitik baik pada kondisi dibawah sinar UV ataupun sinar matahari. Pada grafik gambar 4.5 penambahan Ag 5% pada Ag-ZnO memiliki kemampuan terbaik dalam mendegradasi *methylene blue*. Pada penambahan Ag 0 hingga 10% didapatkan diameter Ag yang tidak jauh berbeda, hal ini dikarenakan penambahan Ag dengan dengan komposisi yang kecil membuat Ag tidak begitu terlihat jelas dalam Ag-ZnO. Semakin tinggi komposisi doping Ag maka akan didapatkan diameter kristal yang kecil dengan *surface area* yang besar. Akan tetapi, pada penambahan Ag 20% memiliki diameter yang lebih besar namun tetap lebih efektif partikel dengan penambahan Ag sebesar 5% dibanding yang lain.



Gambar 4.3 Warna Partikel Ag-ZnO untuk 0% hingga 20%

Pada Gambar 4.3 diatas menunjukkan warna partikel yang semakin gelap dengan bertambahnya konsentrasi Ag, hal ini menunjukkan adanya *doping* Ag yang dihasilkan melalui *flame pyrolysis*. Penambahan doping Ag 0% hingga 0.05% diperoleh warna partikel yang sama dengan partikel ZnO murni yaitu putih.

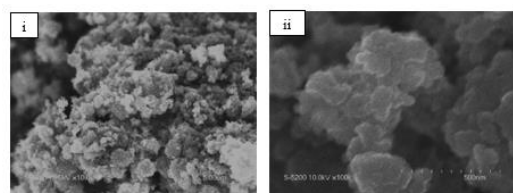
Partikel dengan kandungan Ag 0.1% dan 1% Ag memiliki warna coklat muda serta 5% Ag memiliki warna coklat kehitaman sedangkan 10% memiliki warna partikel hitam muda dan 20% Ag memiliki warna paling gelap yaitu hitam. Perbedaan warna partikel dengan penambahan *doping* Ag yang berbeda ini disebabkan banyak AgO/Ag₂O yang terbentuk pada lapisan. Hubungan antara gradasi warna dengan persentase % perak oksida yang terbentuk dapat menjadi ukuran kualitatif mengenai fasa lapisan yang terbentuk. Semakin berwarna ke-coklat-merah-hitam maka pembentukan perak oksida semakin mendominasi lapisan, sedangkan semakin berwarna putih menunjukkan partikel logam Ag yang lebih mendominasi lapisan. Hal ini dapat dilihat dari reaksi dekomposisi dari perak nitrat melalui proses pemanasan pada reaktor *flame pyrolysis* sebagai berikut.



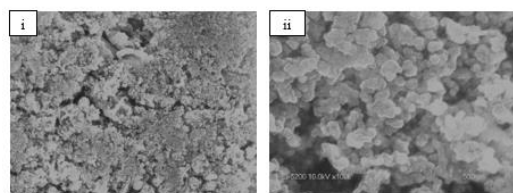
Semakin tinggi konsentrasi Ag maka warna partikel yang dihasilkan semakin gelap, dikarenakan reaksi endoterm yang menyerap panas dari lingkungan ke sistem (Heri, dkk., 2015).

4.3 Analisa SEM

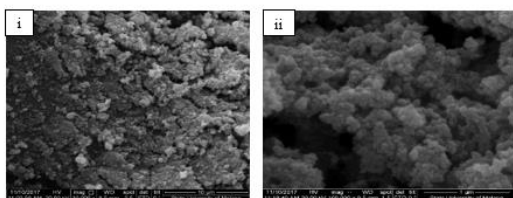
Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk mengetahui morfologi partikel Ag/ZnO. Selain itu, analisa SEM juga digunakan untuk mengetahui diameter partikel dan distribusi diameter partikel yang dihasilkan. Analisa dilakukan dengan menggunakan perbesaran 5000x, 10000x, 25000x, 50000x, dan 100000x. Berikut ini merupakan hasil analisa SEM 0.1 M ZnO dengan perbesaran 10000x (i) dan 100000x (ii) karena yang terlihat paling jelas.



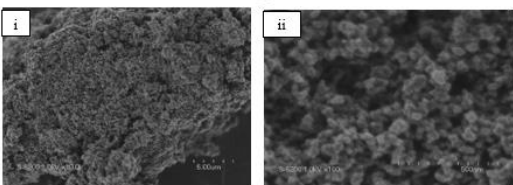
(a)



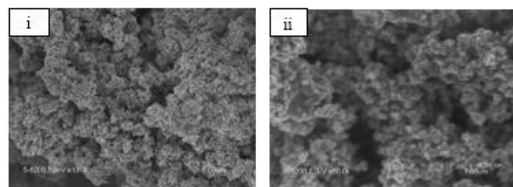
(b)



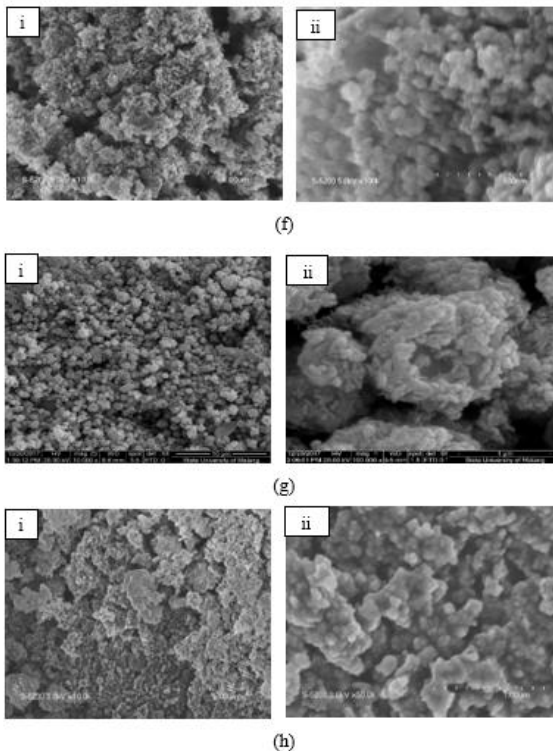
(c)



(d)



(e)

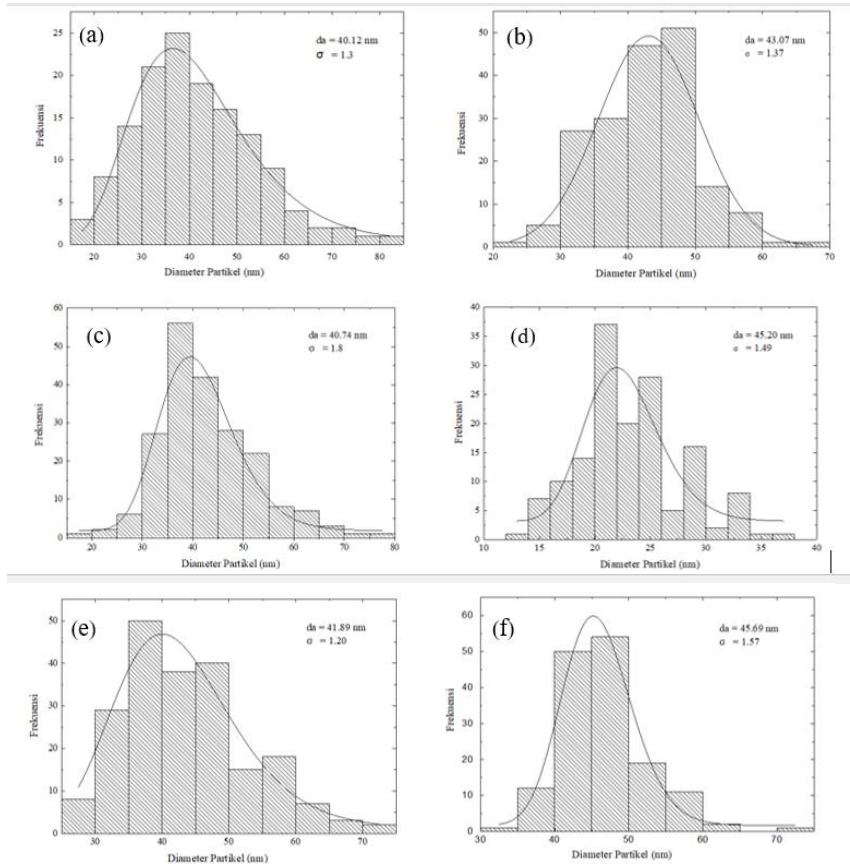


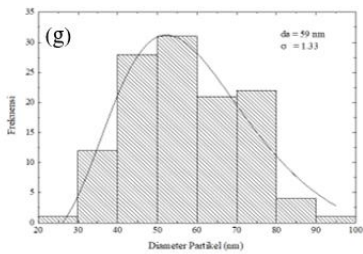
Gambar 4.4 Hasil Analisa SEM pada 0.1 M Ag-ZnO dengan doping Ag sebesar (a) 0% (b) 0.01% (c) 0.05% (d) 0.1% (e) 1% (f) 5% (g) 10% (h) 20%

Berdasarkan hasil analisa SEM diatas, diketahui bahwa morfologi partikel Ag/ZnO berbentuk *sphere*. Partikel yang dihasilkan berbentuk *sphere* terjadi karena adanya pengaruh inti partikel yang berkembang menjadi partikel yang lebih besar (Iler, 1979). Namun bentuk *sphere* tersebut cenderung tidak beraturan dan bervariasi ukurannya, hal ini dikarenakan adanya kemungkinan terjadi aglomerasi. Aglomerasi dapat terjadi karena

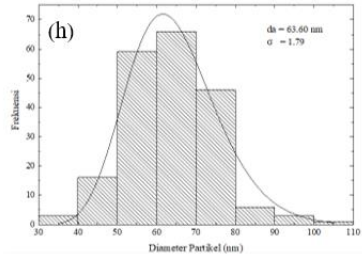
tingginya konsentrasi partikel yang ada didalam aliran gas saat melewati reaktor flame pyrolisis sehingga berpeluang terjadi tumbukan antar partikel (Khairurrijal, 2008).

Berikut ini adalah hasil perhitungan dari variasi diameter partikel rata-rata dan distribusi ukuran partikel.





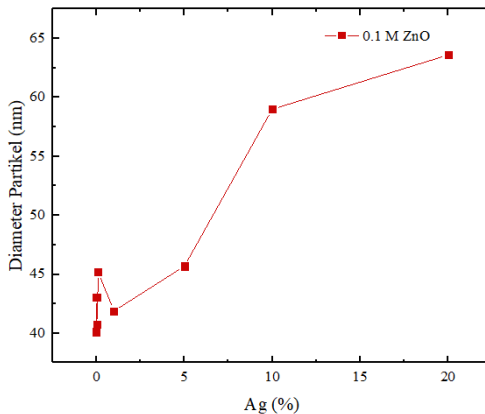
(g)



(h)

Gambar 4.5 Grafik Distribusi Partikel 0.1 M Ag-ZnO dengan doping Ag sebesar (a) 0% (b) 0.01% (c) 0.05% (d) 0.1% (e) 1% (f) 5% (g) 10% (h) 20%

Perhitungan diameter partikel dengan sampling partikel secara random sebanyak 100-200 partikel dengan menggunakan aplikasi ImageJ. Dari perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa semakin tinggi doping Ag maka diameter partikel cenderung semakin besar. Hal tersebut dikarenakan adanya ikatan van der Waals dimana molekulnya saling berikatan (Atin Saraswati dkk, 2014).

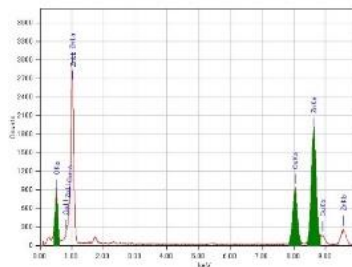
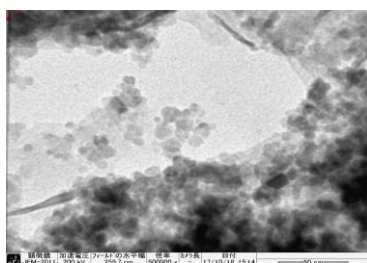


Gambar 4.6 Grafik Pengaruh *Doping* Ag terhadap Diameter Partikel

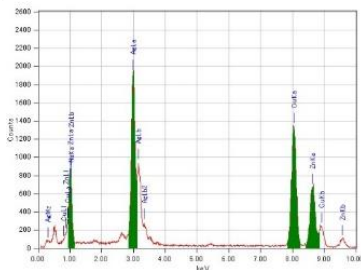
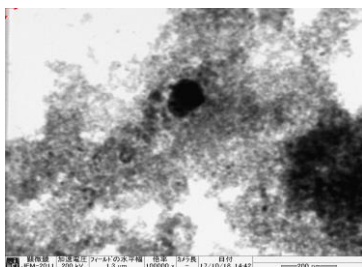
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa pada doping Ag sebesar 5%, 10%, dan 20% mengalami kenaikan diameter yang signifikan. Akan tetapi, pada doping Ag kecil yaitu 0%, 0.01%, 0.05%, 0.1% dan 1% tidak terlalu terlihat perbedaannya. Hasil diatas menunjukkan bahwa diameter partikel terbesar pada doping 20% Ag yaitu sebesar 63.60 nm dan diameter terkecil pada ZnO murni 0% Ag yaitu sebesar 40.12 nm.

4.4 Analisa TEM

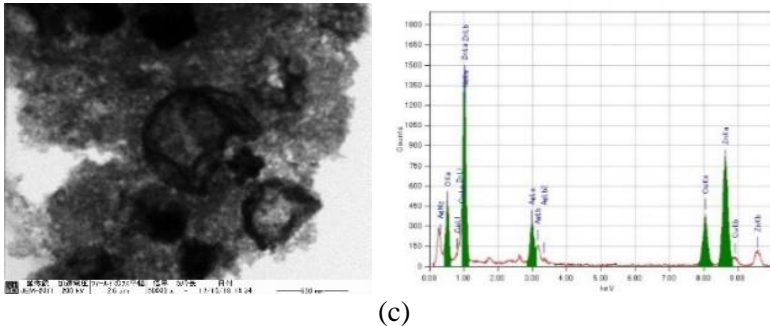
TEM (*Transmission Electron Microscopy*) merupakan salah satu metode analisa morfologi partikel, namun resolusinya lebih tinggi dibandingkan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan dapat memudahkan analisis ukuran atom dalam jangkauan nanometer maupun amstrong. Berikut ini merupakan hasil Analisa TEM partikel Ag/ZnO.



(a)



(b)

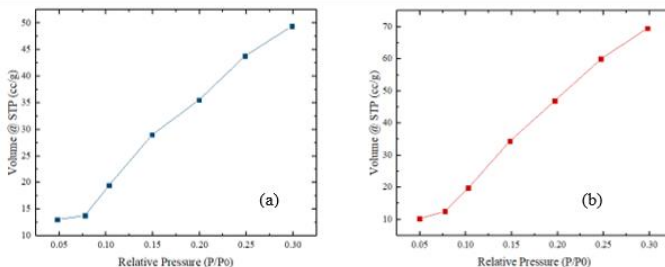


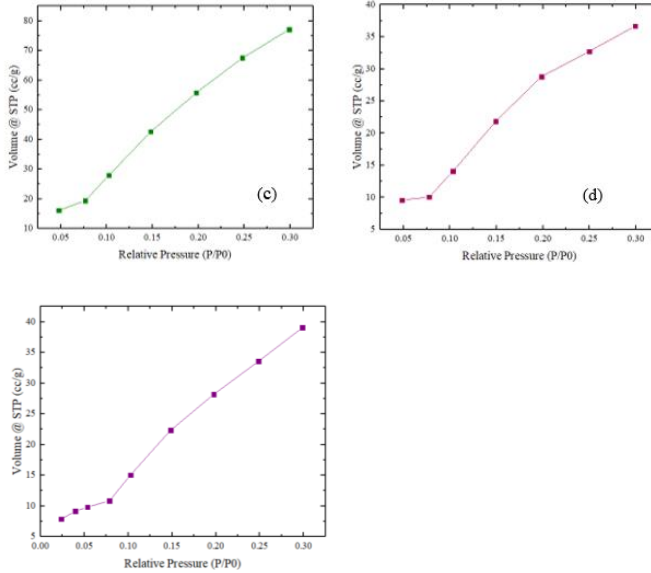
Gambar 4.7 Hasil Analisa TEM dan TEM EDX 0.1 M Ag-ZnO dengan doping Ag sebesar (a) 0% (b) 5% (c) 20%

Dari analisa TEM dapat diketahui bahwa ukuran diameter partikel bervariasi antara 30-80 nm, hal ini sesuai dengan Analisa SEM diatas. Gambar a ZnO murni memiliki ukuran dan morfologi serta pola sebaran yang hampir sama. Pada gambar b terlihat Ag yaitu berupa blok-blok hitam pada titik-titik tertentu, sedangkan pada gambar c terlihat blok-blok hitam lebih banyak namun ukurannya lebih besar dan saling teraglomerasi. Hal tersebut dikarenakan doping Ag pada gambar c lebih banyak yaitu 20%.

4.5 Analisa BET

BET (*Brunauer-Emmet-Teller*) merupakan analisa yang digunakan untuk karakterisasi permukaan suatu material untuk mengetahui *surface area* (SA, m^2/g) dari suatu partikel. Hasil Analisa BET dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan plot antara Relative Pressure dan Volume STP dibawah ini.





Gambar 4.8 Grafik Hasil Analisa BET 0.1 M Ag-ZnO dengan doping Ag sebesar (a) 0% (b) 0.1% (c) 1% (d) 5% (e) 20%

Sedangkan diameter porinya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8.4 *Powder Technology Handbook* 3rd edition sebagai berikut :

$$S_w = \frac{6}{D_m \rho}$$

$$\text{Sehingga, } D_m = \frac{6}{S_w \rho}$$

Dimana : S_w = specific surface area (m^2/g)

D_m = diameter pori (nm)

ρ = densitas Ag/ZnO (kg/m^3)

Tabel 4.2 Hasil Analisa BET 0.1 M nanokomposit Ag-ZnO

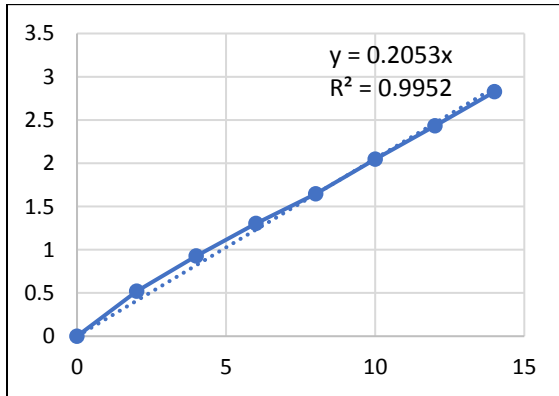
% Ag	Luas Permukaan (m ² /g)	Diameter Pori (nm)
0	237.06	4.515
0.1	561.18	1.906
1	409.38	2.592
5	180.148	5.693
20	189.975	4.798

Hasil diatas menunjukkan semakin besar doping Ag maka luas permukaan cenderung semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin besar doping Ag maka diameter partikel yang terbentuk semakin besar sehingga luas antar muka partikel semakin kecil. Aglomerasi menyebabkan partikel kecil-kecil menempel pada partikel yang lebih besar sehingga luas permukaan juga ikut menjadi kecil yang dapat menurunkan tegangan antarmuka. Ini menyebabkan tegangan yang diterima partikel tidak dapat dialirkan ke bagian partikel sehingga ada kemungkinan dapat menurunkan daya fotokatlitik (Ahmad, 2014).

4.6 Hasil Analisa Fotokatalitik

4.6.1 Kalibrasi *Methylene Blue*

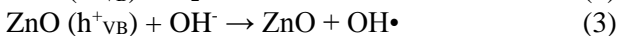
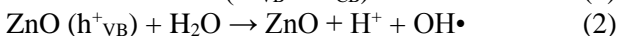
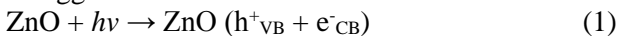
Kalibrasi *methylene blue* dilakukan untuk menemukan kurva standarisasi antara absorbansi dengan konsentrasi dari *methylene blue* sehingga dapat diketahui konsentrasi *methylene blue* pada absorbansi tertentu. Kurva ini digunakan untuk analisa fotokatalitik dalam mendegradasi *methylene blue* oleh Ag-ZnO pada konsentrasi Ag tertentu. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil kurva kalibrasi dengan persamaan $y = 0.2053x$ dengan $R^2 = 0.9952$ pada panjang gelombang 665 nm dengan nilai konsentrasi *methylene blue* maksimal adalah sebesar 14 ppm. Berikut ini hasil standarisasi yang ditunjukkan dalam Gambar 4.9

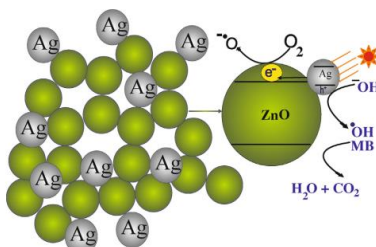
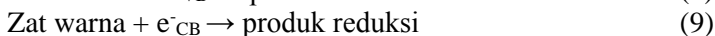
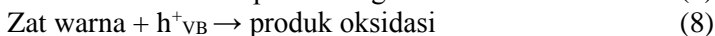


Gambar 4.9 Kurva standarisasi *methylene blue*

4.3.2 Analisa Fotokatalitik

Proses fotokatalitik berlangsung melalui fotoinduksi senyawa oksida katalis yang menghasilkan spesies-spesies oksidatif yang mampu menghancurkan zat warna. Reaksi fotokatalitik diaktivasi oleh absorpsi foton dengan level energi yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pita (*band-gap*) pada katalis. Reaksi tersebut diinisiasi oleh pemisahan muatan yang dihasilkan oleh promosi elektron (e^-) dari pita valensi ke pita konduksi pada katalis, yang menghasilkan lubang (h^+) pada pita valensi. Elektron yang dihasilkan mampu mereduksi warna atau bereaksi dengan akseptor elektron seperti O_2 yang teradsorpsi pada permukaan katalis atau terlarut dalam air, untuk membentuk anion radikal superoksida ($O_2^{\cdot-}$). Lubang yang dihasilkan mampu mengoksidasi molekul organik atau bereaksi dengan OH^- atau H_2O untuk memproduksi OH^\cdot . $O_2^{\cdot-}$ dan OH^\cdot adalah spesies yang sangat kuat yang mampu mendegradasi hampir seluruh zat warna metilen blue menjadi produk-produk akhir mineral. Persamaan dibawah ini menggambarkan mekanisme umum dari fotokatalitik.





Gambar 4.10 Mekanisme degradasi *methylene blue*

Pada penelitian ini reaksi fotokatalisis berlangsung dalam sistem heterogen dan laju reaksinya dipengaruhi oleh adsorpsi reaktan pada permukaan katalis ZnO. Kinetika reaksi fotokatalisis mengikuti persamaan Langmuir- Hinshelwood, yaitu:

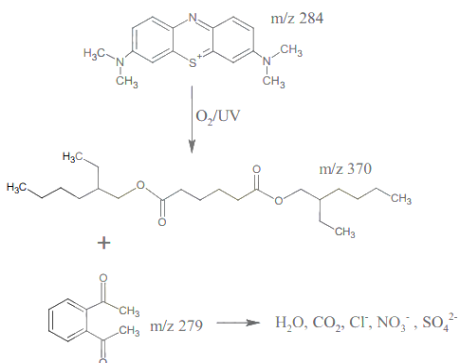
$$r = \frac{-dC}{dt} = \frac{kr \cdot K \cdot C}{1 + K \cdot C}$$

Dimana kr adalah tetapan laju reaksi, K adalah tetapan adsorpsi reaktan dan C adalah konsentrasi reaktan setiap waktu. Untuk dapat menghitung laju reaksi dalam system heterogen, diperlukan nilai tetapan adsorpsi reaktan (K) pada permukaan katalis. Karena dalam penelitian ini tidak dilakukan percobaan untuk menghitung nilai K , maka perhitungan dilakukan dengan pendekatan sistem homogen. Persamaan laju reaksinya adalah (Atkin, 1990) :

$$r = \frac{-dC}{dt} = k \cdot C^n$$

Dimana k adalah tetapan laju reaksi dan n adalah orde reaksi. Orde reaksi dan tetapan laju reaksi ditentukan dengan mengintegrasikan persamaan laju reaksi menjadi persamaan linier. Reaksi yang terjadi diasumsikan pada kondisi temperatur konstan dan pada kondisi reaksi elementer.

Pada proses fotokatalitik pemilihan material semikonduktor ZnO dikarenakan mampu menyerap spektrum matahari dan kuantum cahaya lebih banyak dan memiliki jarak celah pita yang lebih besar (3,4 eV). Selain itu sumber ion logam Zn^{2+} memiliki kelarutan yang tinggi dan sisa ion O^{2-} akan terdekomposisi dalam proses fotokatalitik. Sedangkan logam Zn dipilih sebagai zat aktif katalis karena katalis tersebut mampu memberikan aktivitas dan selektivitas yang tinggi pada suhu operasi rendah dibandingkan dengan katalis berbasis logam lainnya. Sehingga dalam proses fotokatalitik akan terjadi reaksi heterogen dengan penambahan katalis ZnO kedalam larutan metilen blue, hal ini dapat dilihat dengan adanya endapan dalam larutan metilen blue. Persamaan reaksi degradasi dari pewarna metilen biru secara singkat ditunjukkan pada Gambar 4.11.

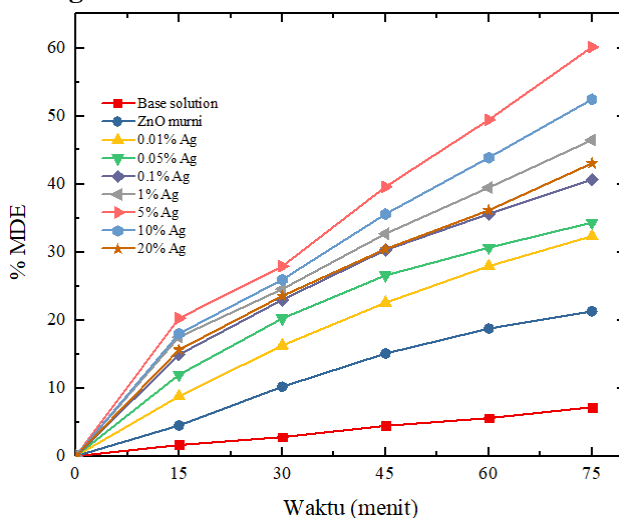


Gambar 4.11 Persamaan Reaksi Degradasi Metilen Blue

Analisa fotokatalitik dilakukan dalam 2 kondisi yang berbeda yaitu kondisi pertama pada ruangan tertutup dan pada kondisi gelap serta hanya diberikan sinar UV sebagai sumber cahaya utamanya. Lampu UV yang digunakan adalah EVACO dengan spesifikasi 220V; 50Hz; T8 10W; 365nm dengan intensitas maksimal yang diukur dengan lux meter sebesar 230.8 lux. Pada kondisi kedua berada diluar ruangan dan diberikan sinar matahari sebagai sumber cahaya utamanya yang digunakan untuk melihat %

efisiensi dari penambahan Ag pada sinar ultraviolet dan matahari. Sinar matahari diukur dengan menggunakan *light meter* LT Lutron LX-1102 pada pagi hingga siang hari. Sebelum dilakukan penyinaran dibawah sinar ultraviolet dan sinar matahari dilakukan pengadukan selama 30 menit yang bertujuan agar pada kondisi kesetimbangan (equilibrium adsorpsi-desorpsi). Hasil analisis fotokatalitik dengan menggunakan larutan *methylene blue* selama 75 menit dalam kondisi pengadukan dibawah sinar UV maupun sinar matahari dengan interval pengambilan sampel setiap 15 menit yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh reaksi fotokatalitik dalam mendegradasi larutan organik. Analisa fotokatalitik dilakukan dengan cara menghitung degradasi larutan *methylene blue* dengan asumsi *pseudo-first order* (Liu et al., 2015). Aktivitas fotokatalitik ditentukan dengan cara mengukur *methylene blue degradation efficiency* (MDE) dengan *rate constant* $\ln(C/C_0)$. Hasil dari analisa *methylene blue* pada sinar UV seperti berikut :

4.3.2.1 Pengaruh penambahan variasi *doping* Ag terhadap efisiensi degradasi

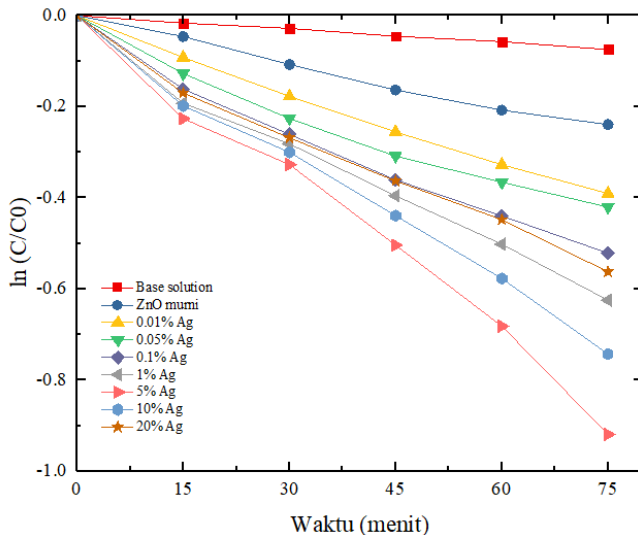


Gambar 4.12 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar UV

Dari hasil penelitian analisa fotokatalitik yang dilakukan pada ruang gelap dengan sinar UV dapat dilihat dari gambar 4.12 diatas, sampel dengan konsentrasi Ag 5% berhasil mendegradasi *methylene blue* hingga 62.69% selama 75 menit. Namun, pada konsentrasi Ag 10% dan Ag 20% kemampuan mendegradasi *methylene blue* semakin menurun. Hal ini terbukti Cahaya UV mampu mengeksitasi elektron dari lapisan ZnO maupun Ag-ZnO sebesar $\pm 40\%$ (Fageria et al., 2014). Eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi berhasil mengoksidasi senyawa organik. Proses eksitasi elektron akan terus berlangsung selama lapisan ZnO disinari dengan lampu UV sehingga larutan MB akan memudar menjadi jernih. Selain itu, terlalu banyaknya kandungan Ag menyebabkan energi foton dari cahaya yang akan masuk ke permukaan katalis terhalang oleh penambahan doping Ag sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis (Zhai et al., 2014). Selain itu, ZnO yang memiliki *band gap* yang kecil (3.2 eV) maka efisiensi kuantum ZnO juga lebih kecil sehingga elektron akan lebih mudah tereksitasi dan menghasilkan radikal hidroksil lebih banyak. Radikal hidroksil inilah yang digunakan sebagai oksidator senyawa metilen biru menjadi zat yang tidak berbahaya (Ali et al., 2006).

Dari gambar 4.13 grafik hubungan degradasi *methylene blue* $\ln(C/Co)$ terhadap waktu menunjukkan adanya penurunan pada konsentrasi Ag 5%. Adanya penambahan Ag menghasilkan rate yang lebih cepat dibanding dengan ZnO murni. Konsentrasi optimum didapatkan pada konsentrasi Ag 5% memiliki *rate constant* yang lebih cepat dengan $k = 0.0087/\text{menit}$ dimana 4x lebih cepat dibandingkan dengan ZnO murni. Namun dapat dilihat bahwa kemampuan degradasi Ag 5% lebih besar dibanding dengan Ag 10% dan Ag 20% yang hanya dapat mendegradasi sebesar 52.44% dan 43.03%. Semakin besar kandungan Ag maka nilai koefisien akan semakin besar dimana akan menghasilkan reaksi fotokatalis yang jauh lebih cepat dibanding dengan ZnO murni. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian kami yang menunjukkan bahwa *rate constant* yang lebih besar pada konsentrasi Ag 5%. Semakin kecil *bandgap energy* maka akan semakin mudah fotokatalis

menyerap foton, namun kemungkinan rekombinasi h^+ dan juga e^- juga semakin besar sehingga perlu diperhatikan dalam pemilihan katalis (Guritno,2012).

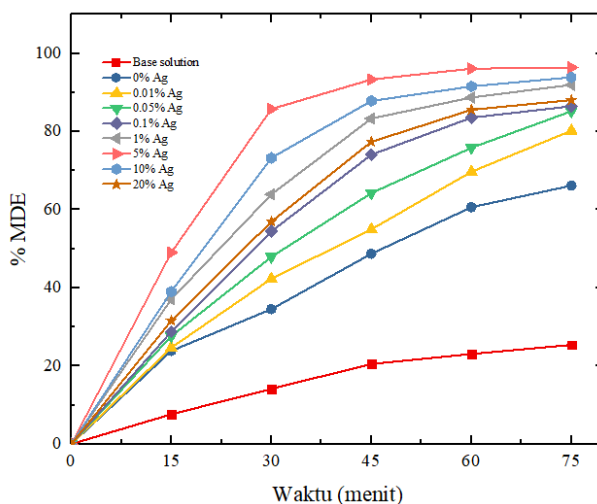


Gambar 4.13 Plot $\ln (C/C_0)$ vs Waktu pada Sinar UV

Banyak penelitian terdahulu yang telah dilakukan dalam meneliti Ag-ZnO dalam sinar UV dimana konsentrasi optimum untuk penambahan Ag sebesar 5% lebih efektif daripada lebih dari atau kurang dari konsentrasi tersebut. Menurut Yang Zhongmei, et al. hasil menurunnya kemampuan degradasi dari Ag-ZnO dengan konsentrasi yang lebih besar dikarenakan 3 hal yaitu adanya penggabungan yang terlalu banyak (agregasi) yang kemudian mengurangi permukaan aktif dari Ag/ZnO. Selain itu, adanya kemungkinan Ag menghalangi penyerapan sinar UV oleh ZnO, sehingga akan mengurangi kemampuan fotokatalis.

Pada analisa fotokatalitik yang kedua dilakukan dalam kondisi dibawah sinar matahari sebagai sumber cahaya, analisa dilakukan dalam rentang waktu jam 10.30 hingga jam 11.45 dengan kondisi matahari cerah dan mengukur intensitas cahaya

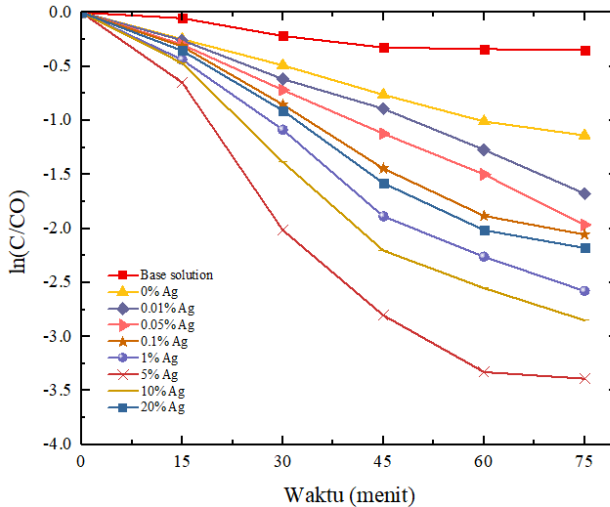
dengan lux meter antara 86500 hingga 97500 lux. Sementara intensitas cahaya dibawah sinar UV adalah sebesar 2950 lux. Oleh karena itu, energi foton yang dihasilkan sinar matahari lebih besar daripada sinar UV yang dapat mengaktifkan mekanisme *Surface Phanon Resonance* (SPR) sehingga elektron dapat mencapai kondisi *fermi equilibrium* saat diinjeksi ke CB. Electron ini kemudian bereaksi dengan oksigen terlarut membentuk O^{2-} dan OH^- bila O^{2-} bereaksi dengan H_2O yang kemudian untuk selanjutnya bereaksi dengan polutan organik (Fageria et al., 2015).



Gambar 4.14 Efisiensi Degradasi *Methylene Blue* pada Sinar Matahari

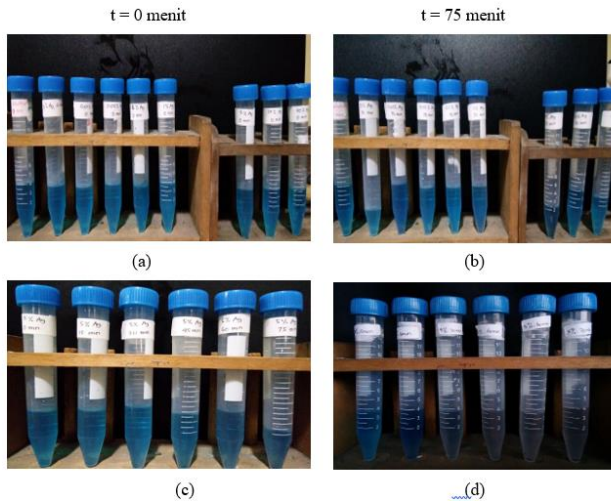
Pada grafik Gambar 4.14 menunjukkan bahwa persen degradasi *methylene blue* pada variasi komposisi Ag diatas terlihat bahwa komposisi Ag sebesar 5% memiliki efisiensi degradasi *methylene blue* yang lebih maksimum dari pada 10% dan 20% Ag. Pada komposisi Ag 5% menunjukkan bahwa menit ke 15 hingga menit ke 30 larutan *methylene blue* mulai mengalami kenaikan degradasi yang cukup tajam. Namun, pada menit ke 60 menuju

menit ke 75 laju degradasi mulai terlihat konstan. Hal ini dikarenakan karena *methylene blue* yang terdegradasi hampir menyentuh titik maksimal (warna menjadi bening seperti air) sehingga degradasi yang terjadi konstan. Persen degradasi larutan *methylene blue* terhadap 5% Ag pada menit ke 60 mencapai 96,42% dan mencapai konstan pada menit ke 75 sebesar 96.63%. Pada grafik diatas terlihat pada komposisi ZnO murni sampai Ag-ZnO 5% laju degradasi terhadap larutan *methylene blue* mengalami peningkatan, sedangkan pada penambahan komposisi Ag 10% laju degradasi mulai menurun dan diikuti dengan penurunan komposisi Ag 20%. Dengan demikian dapat disimpulkan kondisi dibawah sinar matahari yang optimum dengan penambahan doping 5% Ag karena penambahan doping yang lebih membuat kemampuan fotokatalis menurun sehingga dapat merugikan hasil yang didapat. Hal ini disebabkan karena 5% adalah komposisi *doping* yang paling optimal dimana dapat mencegah terjadinya *electron hole recombination* pada lubang elektron sehingga kemampuan fotokatalis dari Ag/ZnO akan meningkat. Pada kondisi doping Ag dibawah 5% wt dimungkinkan masih terjadi *electron hole recombination*, sedangkan *doping* Ag diatas 5% wt akan menghambat masuknya energi foton karena permukaan katalis tertutup oleh Ag sehingga kemampuan fotokatalisnya juga berkurang (Zhai et. Al, 2014).



Gambar 4.15 Plot $\ln(C/C_o)$ vs Waktu pada sinar Matahari

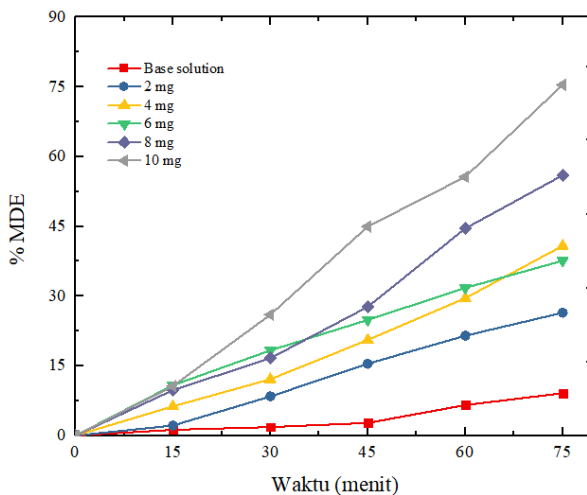
Dari grafik Gambar 4.15 diatas menunjukkan hubungan antara $\ln(C/C_o)$ vs waktu terlihat bahwa penambahan Ag 5% pada Ag/ZnO memiliki kemampuan degradasi paling cepat hingga menit 60 yang kemudian mengalami penurunan konstan hingga menit 75. Semakin tinggi penambahan *doping* Ag menyebabkan laju degradasi yang semakin cepat hingga pada *doping* Ag 5% wt, hal ini disebabkan karena berkurangnya rekombinasi. Selain itu menurut Bouzid et al. juga menyatakan naiknya kemampuan fotokatalis ini dikarenakan kemampuan partikel dalam mengabsorpsi cahaya tampak karena adanya SPR (*Surface Plasmon Resonance*) dari Ag dimana adanya Ag menambah kemampuan untuk mengabsorpsi cahaya tampak. Dengan mengasumsi *pseudo-1st kinetic reaction* didapat k untuk Ag 5% adalah 0.0491/menit. Pada hasil degradasi dengan *doping* Ag 10% dan 20% dihasilkan *methylene blue* yang berwarna biru muda sehingga menyebabkan naiknya absorbansi pada spektrofotometer UV-Vis yang digunakan.



Gambar 4.16 Hasil analisa fotokatalitik berbagai variasi konsentrasi (a) sebelum, (b) sesudah degradasi pada sinar UV, (c) Ag-ZnO 5% dengan laju degradasi terbaik pada sinar UV, (d) Ag-ZnO 5% dengan laju degradasi terbaik pada sinar matahari

Pada Gambar 4.16 menunjukan bahwa hasil degradasi dari *methylene blue* pada variasi komposisi Ag dalam kondisi dibawah sinar UV dan sinar matahari selama 75 menit. Hasil analisa fotokatalitik dengan menggunakan sinar UV diperoleh *methylene blue* yang berwarna biru yang lebih muda pada menit ke 75 dibanding pada 0 menit, sedangkan pada kondisi yang diletakkan dibawah sinar matahari diperoleh warna yang bening seperti air. Sehingga terlihat bahwa semakin tinggi komposisi Ag maka semakin cepat *rate* degradasi dari *methylene blue*. Hal ini dapat dilihat dari komposisi Ag 1% memiliki *rate* degradasi lebih kecil daripada Ag 5%. Selain itu, proses pengadukan dapat mempercepat pendegradasian warna. Saat diaduk molekul-molekul pada larutan saling berinteraksi yang menyebabkan molekul pada bagian permukaan atas berpindah ke molekul bagian permukaan bawah, sehingga molekul-molekul pada larutan MB terfotokatalis secara merata.

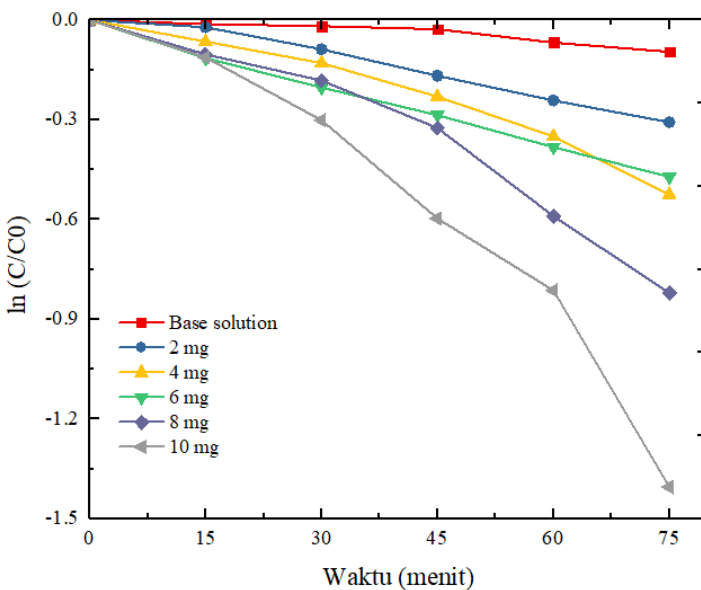
4.3.2.2 Pengaruh massa Ag-ZnO 1% terhadap efisiensi degradasi



Gambar 4.17 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar UV

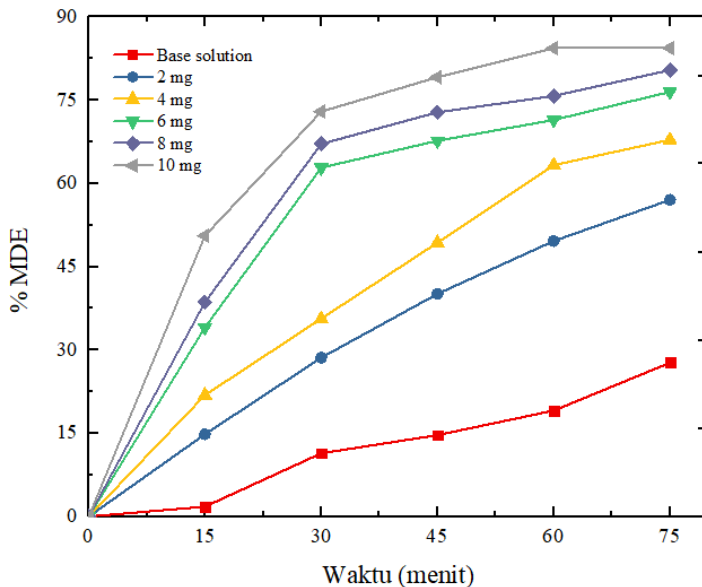
Dari hasil penelitian analisa fotokatalitik yang dilakukan pada ruang gelap dengan sinar UV dapat dilihat dari gambar 4.17 diatas, sampel dengan konsentrasi Ag 1% dengan penambahan massa 10 mg berhasil mendegradasi *methylene blue* hingga 75.46% selama 75 menit. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penambahan massa Ag-ZnO maka laju degradasi yang dihasilkan akan semakin tinggi. Penambahan doping Ag pada ZnO akan mengurangi *band gap* sekitar 0,1-0,3 eV yang akan diamati pada 2,8 eV dan 2,6 eV. Nilai eV yang berkurang memungkinkan kemungkinan aktivitas fotokatalitik yang tinggi pada daerah sekitar. Selain itu, ZnO yang memiliki *band gap* yang kecil (3.2 eV) maka efisiensi kuantum ZnO juga lebih kecil sehingga elektron akan lebih mudah tereksitasi dan menghasilkan radikal hidroksil lebih banyak. Radikal hidroksil inilah yang digunakan sebagai oksidator senyawa metilen biru menjadi zat yang tidak berbahaya (Ali *et al.*, 2006).

Dari gambar 4.18 grafik hubungan degradasi *methylene blue* $\ln(C/C_0)$ terhadap waktu menunjukkan adanya penurunan pada penambahan Ag-ZnO 1% sebesar 10 mg. Adanya penambahan massa Ag-ZnO yang lebih tinggi akan menghasilkan *rate constant* yang lebih cepat dibanding dengan massa Ag-ZnO yang lebih kecil. Penambahan massa Ag-ZnO 1% yang optimum didapatkan pada massa 10 mg yang memiliki *rate constant* yang lebih cepat dengan $k = 0.018/\text{menit}$, dimana 4x lebih cepat dibandingkan dengan penambahan massa 2 mg. Sehingga dapat dilihat kemampuan degradasi pada penambahan massa 10 mg dapat mendegradasi 75.46%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar doping Ag maka nilai koefisien akan semakin besar dimana akan menghasilkan reaksi fotokatalis yang jauh lebih cepat dibanding dengan ZnO murni, dikarenakan penambahan doping akan menurunkan energi celah pita (*band gap*). Sehingga elektron akan mudah tereksitasi ke dalam kovalen band menuju ke permukaan material semikonduktor (Kittel, 1996).



Gambar 4.18 Plot $\ln(C/C_0)$ vs Waktu pada Sinar UV

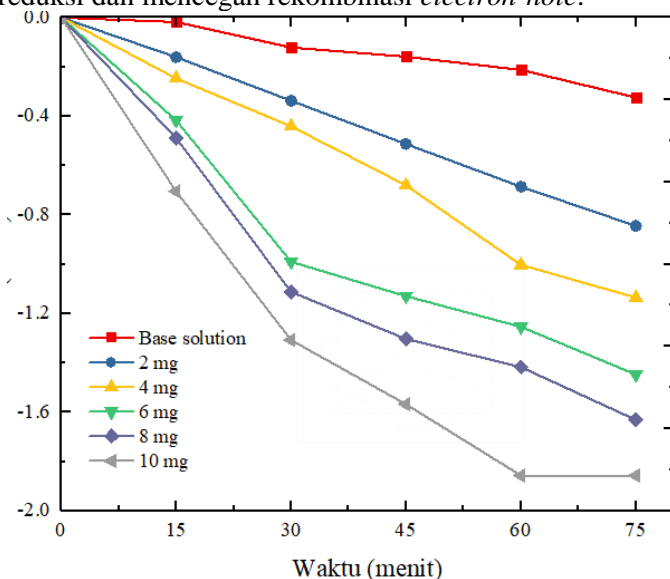
Pada analisa fotokatalitik yang kedua dilakukan dalam kondisi dibawah sinar matahari sebagai sumber cahaya, analisa dilakukan dalam rentang waktu jam 11.00 hingga jam 12.15 dengan kondisi matahari cerah dan mengukur intensitas cahaya dengan lux meter antara 56500 hingga 68900 lux.



Gambar 4.19 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar Matahari

Pada grafik Gambar 4.19 menunjukkan bahwa persen degradasi *methylene blue* pada Ag-ZnO 1% diatas terlihat bahwa semakin besar penambahan massa Ag-ZnO maka semakin cepat pula degradasi yang terjadi. Dapat dilihat bahwa penambahan massa Ag-ZnO sebesar 6 mg, 8 mg, dan 10 mg pada ke 0 menit pertama hingga menit ke 45 telah mengalami proses degradasi yang cukup tajam. Namun degradasi telah mencapai perubahan yang mendekati konstan pada menit ke 60 menuju ke menit 75. Sehingga dapat disimpulkan bahwa degradasi maksimal terjadi pada penambahan massa Ag-ZnO 1% sebesar 10 mg dengan % MDE

sebesar 84.39%. Pada grafik diatas terlihat bahwa semakin besar penambahan massa Ag-ZnO maka laju degradasi terhadap larutan *methylene blue* semakin mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan perak dapat meningkatkan penyerapan pada wilayah sinar tampak dikarenakan adanya *localized surface plasmon resonance* (LSPR) sebagai *electron acceptor* sehingga dapat menjaga kesetimbangan muatan dalam sistem dengan cara mereduksi dan mencegah rekombinasi *electron-hole*.

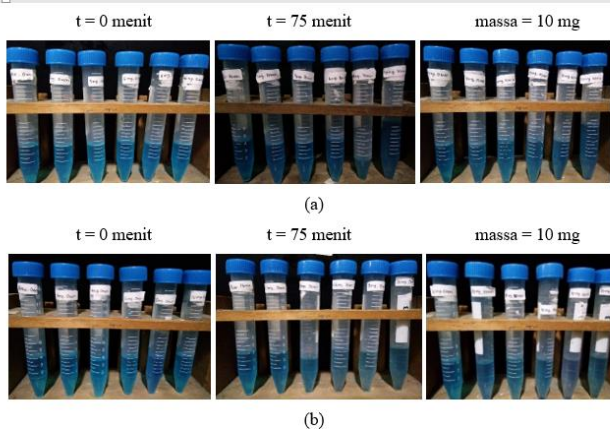


Gambar 4.20 Plot $\ln (C/C_o)$ vs Waktu pada Sinar Matahari

Dari grafik Gambar 4.20 diatas menunjukkan hubungan antara $\ln(C/C_o)$ vs waktu terlihat bahwa penambahan massa Ag-ZnO 1% sebesar 10 mg memiliki kemampuan degradasi yang paling maksimum hingga menit ke 75. Hasil degradasi dengan penambahan massa Ag-ZnO 1% sebesar 10 mg pada 15 menit pertama sebesar 50.57% hingga mencapai maksimal sebesar 84.39%. Semakin tinggi penambahan massa Ag-ZnO 1% menyebabkan laju degradasi yang semakin cepat. Hal ini

dikarenakan ZnO yang memiliki *band gap* yang kecil (3.2 eV) maka efisiensi kuantum ZnO juga lebih kecil sehingga elektron akan lebih mudah tereksitasi dan menghasilkan radikal hidroksil lebih banyak. Radikal hidroksil inilah yang digunakan sebagai oksidator senyawa metilen biru menjadi zat yang tidak berbahaya (Ali *et al.*, 2006). Dalam proses radikal hidroksil tersebut dihasilkan reaksi degradasi. Dengan mengasumsi *pseudo-1st kinetic reaction* didapat k untuk penambahan massa Ag-ZnO 1% sebesar 10 mg adalah 0.0248/menit.

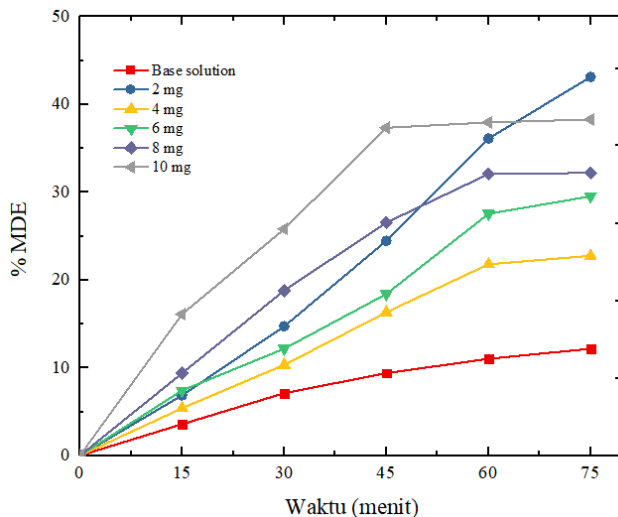
Pada Gambar 4.21 menunjukkan bahwa hasil degradasi dari *methylene blue* pada variasi penambahan massa Ag-ZnO 1% dalam kondisi dibawah sinar UV dan sinar matahari selama 75 menit. Hasil analisa fotokatalitik dengan menggunakan sinar UV diperoleh *methylene blue* yang berwarna biru terang pada menit terakhir, sedangkan pada kondisi yang diletakkan dibawah sinar matahari diperoleh warna yang jernih seperti air pada menit ke 60 dan dimenit ke 75 sudah tidak mengalami perubahan warna. Sehingga terlihat bahwa semakin tinggi penambahan Ag-ZnO 1% maka semakin cepat *rate* degradasi dari *methylene blue*. Penambahan Ag-ZnO 1% yang optimum dibawah Sinar UV dan sinar matahari terjadi pada penambahan massa 10 mg



Gambar 4.21 Hasil analisa fotokatalitik ZnO murni (a) sebelum dan sesudah degradasi, serta nanopartikel ZnO terbaik pada 10 mg

pada Sinar UV (b) sebelum dan sesudah degradasi, serta nanopartikel ZnO terbaik pada 10 mg pada Sinar Matahari

4.3.2.3 Pengaruh massa Ag-ZnO 5% terhadap efisiensi degradasi

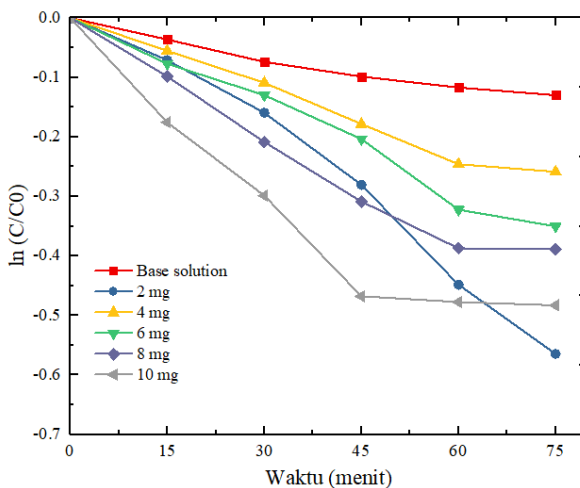


Gambar 4.22 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar UV

Dari hasil penelitian analisa fotokatalitik yang dilakukan pada ruang gelap dengan sinar UV dapat dilihat dari gambar 4.22 diatas, sampel dengan konsentrasi Ag 5% dengan penambahan massa 2 mg berhasil mendegradasi *methylene blue* hingga 43.13% selama 75 menit. Laju degradasi maksimum terjadi pada penambahan massa 10 mg sampai menit ke 45, namun pada interval waktu berikutnya massa 10 mg tidak mampu mendegradasi larutan *methylene blue* kembali dan terlihat konstan. Hal ini dikarenakan terlalu banyaknya kandungan Ag dapat menghalangi energi foton dari cahaya untuk ke permukaan material semikonduktor sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis (Zhai et al., 2014). Menurut Yang Zhongmei, et al. hasil menurunnya kemampuan degradasi dari Ag-ZnO dengan konsentrasi yang lebih

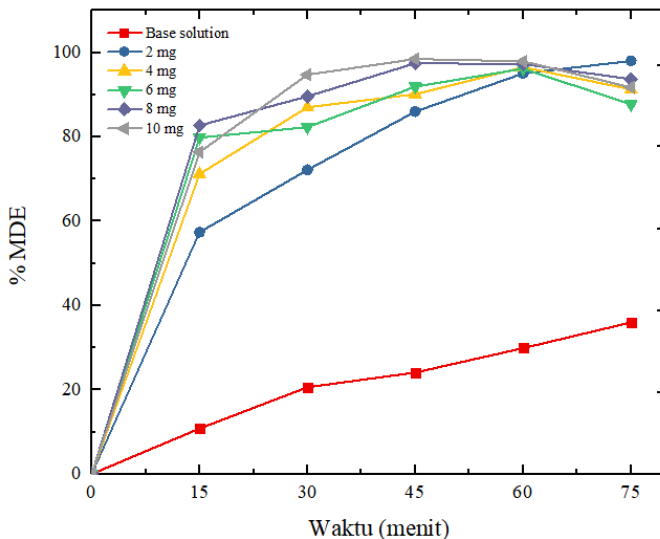
besar dikarenakan 3 hal yaitu adanya penggabungan yang terlalu banyak (agregasi) yang kemudian mengurangi permukaan aktif dari Ag/ZnO. Selain itu, adanya kemungkinan Ag menghalangi penyerapan sinar UV oleh ZnO, sehingga akan mengurangi kemampuan fotokatalis. Serta Ag yang berfungsi menjadi pusat rekombinasi dikarenakan adanya ketertarikan elektrostatis dari Ag yang positif terhadap elektron yang negatif.

Dari gambar 4.23 grafik hubungan degradasi *methylene blue* $\ln(C/C_0)$ terhadap waktu menunjukkan adanya penurunan pada penambahan Ag-ZnO 5% sebesar 2 mg. Penambahan massa Ag-ZnO 5% yang optimum didapatkan pada massa 2 mg yang memiliki *rate constant* yang lebih cepat dengan $k = 0.4983/\text{menit}$ dibandingkan dengan penambahan massa yang lebih besar yang mengalami penurunan *rate constant* pada menit ke 45 untuk massa selain 2 mg. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan massa Ag-ZnO 5% tidak menghasilkan laju degradasi yang meningkat, namun sebaliknya mengalami penurunan laju degradasi. Hal ini karena penambahan doping Ag yang berlebih pada massa yang lebih besar akan menyebabkan pasangan elektron-hole akan berekombinasi kembali.



Gambar 4.23 Plot $\ln(C/C_0)$ vs Waktu pada Sinar UV

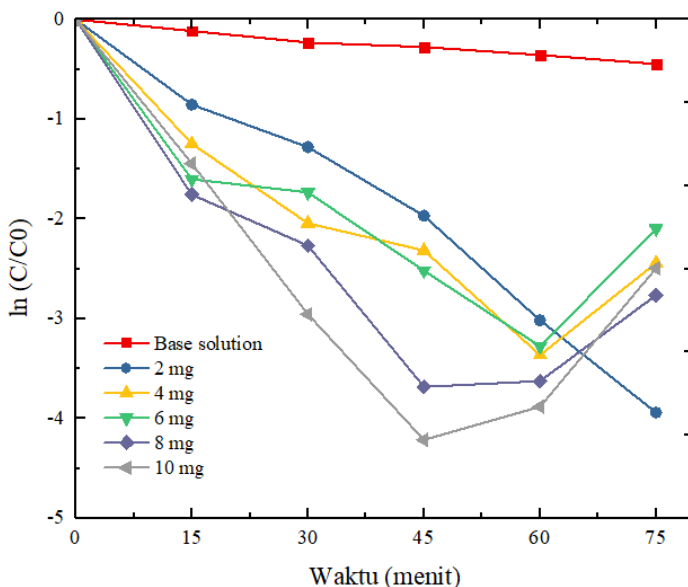
Pada analisa fotokatalitik yang kedua dilakukan dalam kondisi dibawah sinar matahari sebagai sumber cahaya, analisa dilakukan dalam rentang waktu jam 10.00 hingga jam 11.15 dengan kondisi matahari cerah dan mengukur intensitas cahaya dengan lux meter antara 93200 hingga 10500 lux.



Gambar 4.24 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar Matahari

Pada grafik Gambar 4.24 menunjukan bahwa persen degradasi *methylene blue* pada Ag-ZnO 5% diatas terlihat bahwa penambahan massa Ag-ZnO yang optimum pada penambahan 2 mg. Dapat dilihat bahwa penambahan massa Ag-ZnO sebesar 4 mg, 6 mg, dan 8 mg pada ke 0 menit pertama hingga interval tiap 15 menit mengalami proses degradasi yang meningkat dan menurun secara bergantian. Namun berbeda dengan penambahan massa 10 mg laju degradasi maksimum terjadi pada menit ke 45 dan kemudian menurun hingga menit 75. Sehingga dapat disimpulkan bahwa degradasi maksimum terjadi pada penambahan massa Ag-ZnO 5% sebesar 2 mg dengan % MDE sebesar 98.06%. Pada grafik

diatas terlihat bahwa semakin besar penambahan massa Ag-ZnO maka laju degradasi terhadap larutan *methylene blue* tidak selalu mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan celah pita yang melebar karena konsentrasi oksigen yang rendah dalam material semikonduktor dan sehingga kurangnya oksigen dalam kristal ZnO dapat bertindak sebagai pusat rekombinasi, sehingga mengurangi efisiensi fotokatalitik. (Etacheri, 2011). Selain itu, terlalu banyaknya kandungan Ag dapat menyebabkan Ag menjadi pusat rekombinasi *photo-generated electron* dan menjadi lubang rekombinasi serta menghalangi energi foton dari cahaya untuk ke permukaan material semikonduktor sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis (Zhai et al., 2014).

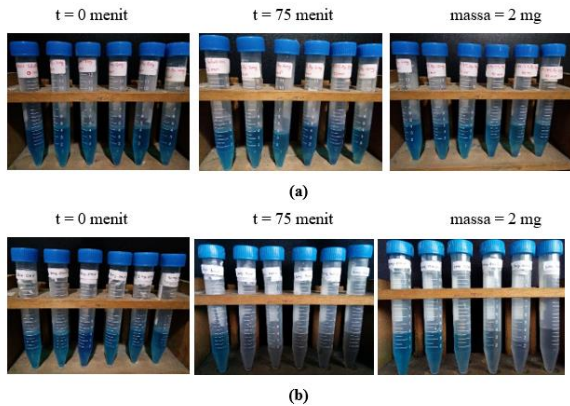


Gambar 4.25 Plot $\ln (C/C_o)$ vs Waktu pada Sinar Matahari

Dari grafik Gambar 4.25 diatas menunjukkan hubungan antara $\ln(C/C_o)$ vs waktu terlihat bahwa penambahan massa Ag-ZnO 5% sebesar 2 mg memiliki kemampuan degradasi yang paling

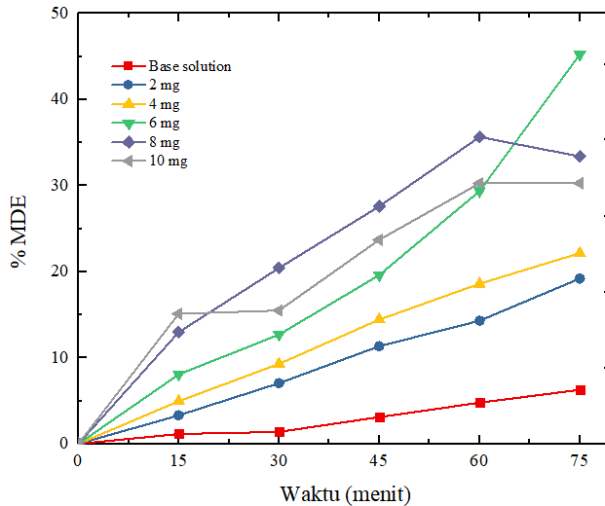
maksimum hingga menit ke 75. Hasil degradasi dengan penambahan massa Ag-ZnO 5% sebesar 2 mg pada menit ke 75 mencapai 98.06%. Semakin tinggi penambahan massa Ag-ZnO didapatkan laju degradasi yang semakin menurun. Rendahnya efisiensi laju degradasi Ag-ZnO dibawah sinar matahari dikarenakan kurangnya kandungan oksigen didalam kristal ZnO yang bertindak sebagai pusat rekombinasi sehingga mengurangi efisiensi fotokatalitik. Dalam proses radikal hidroksil tersebut dihasilkan reaksi degradasi. Dengan mengasumsi *pseudo-1st kinetic reaction* didapat k untuk penambahan massa Ag-ZnO 5% sebesar 2 mg adalah 0.0512/menit.

Pada Gambar 4.26 menunjukan bahwa hasil degradasi dari *methylene blue* pada variasi penambahan massa Ag-ZnO 5% dalam kondisi dibawah sinar UV dan sinar matahari selama 75 menit. Hasil analisa fotokatalitik dengan menggunakan sinar UV diperoleh *methylene blue* yang berwarna biru lebih muda pada menit ke 75 dibanding pada 15 menit pertama untuk penambahan massa 2 mg, sedangkan pada kondisi yang diletakkan dibawah sinar matahari diperoleh warna yang jernih dan bening seperti air pada penambahan 2 mg. Sehingga terlihat bahwa semakin lama waktu degradasi dengan penambahan variasi massa Ag-ZnO perubahan warna akan terjadi dititik maksimum. Selanjutnya larutan *methylene blue* akan menjadi sedikit keruh.



Gambar 4.26 Hasil analisa fotokatalitik ZnO murni (a) sebelum dan sesudah degradasi, serta nanopartikel ZnO terbaik pada 2 mg pada Sinar UV (b) sebelum dan sesudah degradasi, serta nanopartikel ZnO terbaik pada 2 mg pada Sinar Matahari

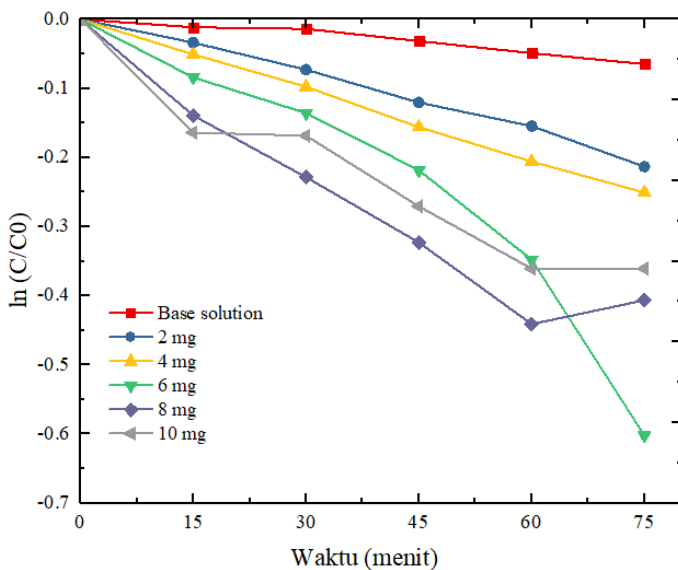
4.3.2.4 Pengaruh massa Ag-ZnO 10% terhadap efisiensi degradasi



Gambar 4.27 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar UV

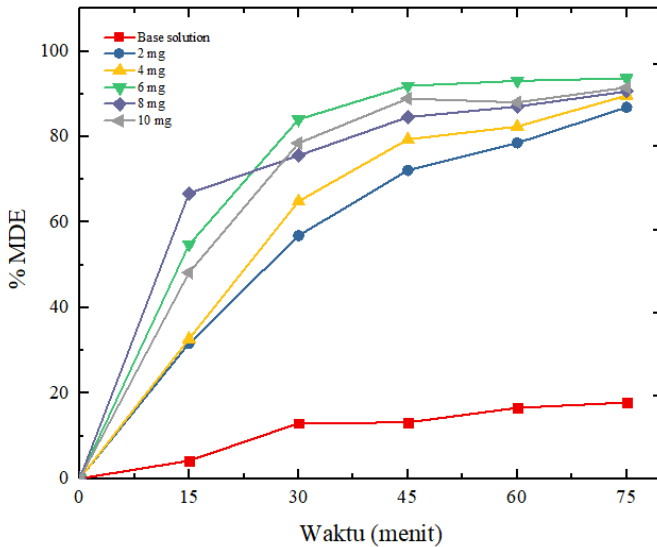
Dari hasil penelitian analisa fotokatalitik yang dilakukan pada ruang gelap dengan sinar UV dapat dilihat dari gambar 4.27 diatas, sampel dengan konsentrasi Ag 10% dengan penambahan massa 6 mg berhasil mendegradasi *methylene blue* hingga 45.24% selama 75 menit. Laju degradasi maksimum terjadi pada penambahan massa 8 mg sampai menit ke 60, namun pada interval waktu berikutnya penambahan massa 8 mg tidak mampu mendegradasi larutan *methylene blue* kembali dan terlihat mengalami penurunan *rate* kecepatan reaksi. Hal ini dikarenakan terlalu banyaknya kandungan Ag dapat menghalangi energi foton dari cahaya sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis (Zhai et al., 2014). Selain itu, Ag yang memiliki sifat plasmonik yang disebut *Surface Plasmon Resonance* (SPR) apabila ditambahkan kedalam bahan semikonduktor ZnO. SPR nanopartikel perak tersebut dapat meningkatkan sifat fisis suatu bahan semikonduktor untuk meningkatkan efisiensi degradasi *methylene blue*. Kondisi ini disebabkan nanopartikel Ag tumbuh pada nanorod ZnO sehingga menimbulkan efek LSPR yang mengakibatkan penyerapan cahaya meningkat dan menyebar serta meningkatkan konsentrasi elektron dalam sampel (Erman, 2016).

Dari gambar 4.28 grafik hubungan degradasi *methylene blue* $\ln(C/Co)$ terhadap waktu menunjukkan adanya penurunan pada penambahan Ag-ZnO 10% sebesar 6 mg. Penambahan massa Ag-ZnO 10% yang optimum didapatkan pada massa 6 mg yang memiliki *rate constant* yang lebih cepat dengan $k = 0.0074/\text{menit}$ dibandingkan dengan penambahan massa 2 mg. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan massa Ag-ZnO 10% tidak menghasilkan laju degradasi yang meningkat, namun sebaliknya mengalami penurunan laju degradasi. Hal ini dikarena penambahan doping Ag yang berlebih pada massa yang lebih besar akan menyebabkan pasangan elektron-hole akan berekombinasi kembali.



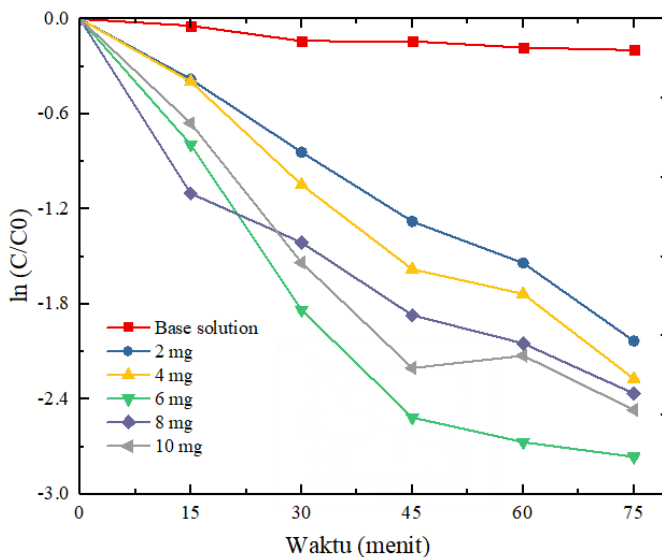
Gambar 4.28 Plot $\ln (C/C_o)$ vs Waktu pada Sinar UV

Pada analisa fotokatalitik yang kedua dilakukan dalam kondisi dibawah sinar matahari sebagai sumber cahaya, analisa dilakukan dalam rentang waktu jam 11.00 hingga jam 12.15 dengan kondisi matahari cerah dan mengukur intensitas cahaya dengan lux meter antara 58900 hingga 64100 lux.



Gambar 4.29 Efisiensi Degradasi *Methylene blue* pada Sinar Matahari

Pada grafik Gambar 4.29 menunjukkan bahwa persen degradasi *methylene blue* pada Ag-ZnO 10% diatas terlihat bahwa penambahan massa Ag-ZnO yang optimum pada penambahan 6 mg. Namun pada penambahan massa Ag-ZnO sebesar 8 mg pada menit pertama hingga menit ke 15 mengalami proses degradasi yang meningkat drastis. Kemudian pada menit ke 45 hingga 75 laju degradasi menjadi stabil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa degradasi maksimum terjadi pada penambahan massa Ag-ZnO 10% sebesar 6 mg dengan % MDE sebesar 93.70%. Pada grafik diatas terlihat bahwa semakin besar penambahan massa Ag-ZnO maka laju degradasi terhadap larutan *methylene blue* tidak menentu mengalami kenaikan, terutama pada partikel dengan doping Ag yang tinggi. Hal ini dikarenakan terlalu banyaknya kandungan Ag akan menghalangi energi foton dari sinar matahari sehingga mengurangi kemampuan fotokatalis (Zhai et al., 2014).

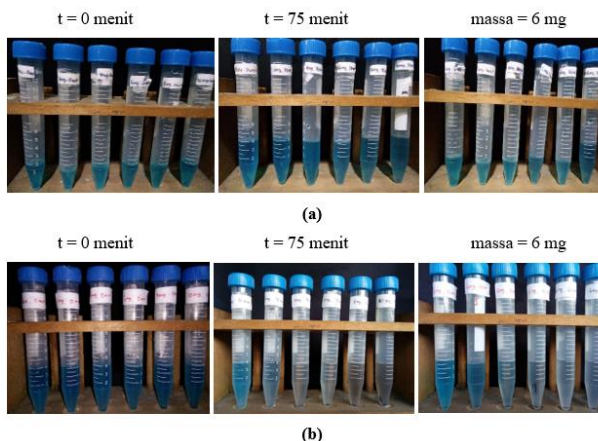


Gambar 4.30 Plot $\ln (C/C_o)$ vs Waktu pada Sinar Matahari

Dari grafik Gambar 4.30 diatas menunjukkan hubungan antara $\ln(C/C_o)$ vs waktu terlihat bahwa penambahan massa Ag-ZnO 10% sebesar 6 mg memiliki kemampuan degradasi yang paling maksimum hingga menit ke 75. Semakin tinggi penambahan massa Ag-ZnO didapatkan laju reaksi yang semakin meningkat. Namun dalam penelitian ini didapatkan nilai k tertinggi pada penambahan massa 6 mg yaitu sebesar 0.0384 /menit. . Rendahnya efisiensi laju degradasi Ag-ZnO dibawah sinar matahari dikarenakan kurangnya kandungan oksigen didalam kristal ZnO yang bertindak sebagai pusat rekombinasi sehingga mengurangi efisiensi fotokatalitik.

Pada Gambar 4.31 menunjukan bahwa hasil degradasi dari *methylene blue* pada variasi penambahan massa Ag-ZnO 10% dalam kondisi dibawah sinar UV dan sinar matahari selama 75 menit. Hasil analisa fotokatalitik dengan menggunakan sinar UV diperoleh *methylene blue* yang berwarna biru yang lebih muda pada menit ke 75 dibanding pada menit ke 15, sedangkan pada kondisi

yang diletakkan dibawah sinar matahari diperoleh warna yang lebih jernih dan bening seperti air pada penambahan 6 mg. Sehingga terlihat bahwa semakin lama waktu degradasi dengan penambahan massa variasi Ag-ZnO perubahan warna akan terjadi dititik maksimum. Selanjutnya larutan *methylene blue* akan menjadi sedikit keruh.



Gambar 4.31 Hasil Analisa Fotokatalitik ZnO murni (a) sebelum dan sesudah degradasi, serta nanopartikel ZnO terbaik pada 6 mg pada Sinar UV (b) sebelum dan sesudah, serta nanopartikel ZnO terbaik pada 6 mg pada Sinar Matahari

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Partikel nanokomposit Ag/ZnO berhasil dibuat dengan flame pyrolysis yang dilakukan secara kontinyu
2. Daya fotokatalitik yang paling baik yaitu pada rasio konsentrasi doping Ag sebesar 5% didapatkan laju degradasi sebesar 96.63% dengan nilai k sebesar 0.0491/menit dibawah sinar matahari.
3. Semakin besar massa nanokomposit Ag-ZnO maka proses degradasi metilen blue semakin cepat. Penambahan massa Ag-ZnO yang paling optimum dibawah sinar matahari sebesar 2 mg untuk Ag-ZnO 5% menghasilkan laju degradasi sebesar 98.06%. Sedangkan penambahan massa Ag-ZnO yang optimum dibawah sinar UV sebesar 10 mg untuk Ag-ZnO 1% dengan laju degradasi sebesar 75.46%.
4. Hasil Analisa SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi doping Ag maka diameter partikel semakin besar yaitu pada konsentrasi 20% Ag sebesar 63.5 nm.
5. Hasil Analisa XRD menunjukkan bahwa semakin tinggi doping Ag maka akan menghasilkan *peak* Ag tertinggi pada 20% *wt* yaitu pada *sudut fase* 38.12° .

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, hasil yang didapatkan kurang optimal, terutama pada proses *flame pyrolysis* dimana hasil partikel yang didapat masih teraglomerasi. Maka kami menyarankan untuk penelitian selanjutnya dalam antara lain sebagai berikut:

1. Memperbaiki kinerja rangkaian alat *flame pyrolysis* seperti penggantian *flowmeter* LPG yang lebih akurat, rangkaian

alat dibuat lebih tertutup, kondisi operasi dilakukan dalam keadaan vakum.

2. Memeriksa kembali temperatur pembakaran dalam reaktor *flame pyrolysis*.
3. Pastikan *Electrostatic Precipitator* terpasang dengan rapat untuk mencegah kebocoran aliran gas.
4. Segera lakukan karakterisasi produk dengan XRD untuk memastikan bahwa partikel yang terbentuk benar-benar nanokomposit Ag/ZnO yang diinginkan.
5. Lakukan *trial and error* uji fotokatalitik minimal 3 kali untuk masing-masing sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. (2015). The Effect Of Nano Zinc Oxide To Biodegradability Of Bionanocomposit. *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet Dan Plastik*, 4, 45–58.
- Arora, A., Devi, S., Jaswal, V., Singh, J., King, M., & Gupta, V. (2014). Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles. *Oriental Journal of Chemistry*, 30 (4), 1671–1679.
- Bechambi, O., Chalbi, M., Najjar, W., dan Sayadi, S. (2015). Photocatalytic Activity of ZnO Doped with Ag On the Degradation of Endocrine Disrupting Under UV Irradiation and The Investigation of Its Antibacterial Activity, *Applied Surface Science*, 347, 414–420
- Bouazid, H., Faisal, M., Harraz, F. A., Al-Sayari, S. A., dan Ismail, A. A., (2015). Synthesis of Mesoporous Ag/ZnO Nanocrystals with Enhanced Photocatalytic Activity”, *Catalyst Today*, 252, 20–26.
- Cai, Y., Fan, H., Xu, M., & Li, Q. (2013). Rapid photocatalytic activity and honeycomb Ag/ZnO heterostructures via solution combustion synthesis. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 436, 787–795.
- Chemistry, N. (1987). Connexions BET Surface Area Analysis of Nanoparticles, 2(Figure1), 1–11.
- Demir, M. M., Espi, R. M., Lieberwirth, I., dan Wegner, G.,”Precipitation Of Monodisperse ZnO Nanocrystals Via Acid-Catalyzed Esterification Of Zinc Acetate”, *Journal Of Materials Chemistry*, 16 (2006), 2940–2947.
- Dimitriev, Y., Ivanova, Y., dan Iordanova, R., (2008). History of Sol-Gel Science and Technology. *Journal of The University of Chemical Technology and Metallurgy* Vol. 43, 2, 181–192
- Ethylenediaminetetraacetic, S., Edta, A., Sutardjo, F. X. S. W., Wildan, A., & Handyanaputri, E. S (2015). Pengolahan Limbah Organik Dan Anorganik Menggunakan

- Kombinasi Fotokatalis TiO_2 , 11(2).
- Fageria, P., Gangopadhyay, S., dan Pande, S., (2014). Synthesis of ZnO/Au and ZnO/Ag Nanoparticles and Their Photocatalytic Application Using UV And Visible Light. *Royal Society of Chemistry Advances*, 4, 24962-24972.
- Geetha, M. S., Nagabhushana, H., & Shivananjaiah, H. N. (2016). Green mediated synthesis and characterization of ZnO nanoparticles using Euphorbia Jatropa latex as reducing agent. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 1 (3), 301–310.
- Gratzel, M. (2004). Journal of Photochemistry and Photobiology a-Chemistry.
- Guritno, Ario (2012). Sintesis dan Uji Kinerja Katalis Komposit Ag/TiO_2 -Zeolit Alam Lampung-Karbon Aktif serta Rekayasa Alat untuk Purifikasi Udara Ruang. Depok. Universitas Indonesia
- Hulloli, S. K., & Shivaraj, B. W. (2015). Synthesis and Characterization of Ag doped ZnO Thin Films, 1586–1595.
- Kammler, H. K., Madler, L., dan Pratsinis, S. E. (2001). Flame Synthesis of Nanoparticles. *Chemical Engineering Technologies* Vol. 24, 6, 583-596
- Khoshkbejari M. A. P Safari M., J. A. (2015). Ag/ZnO Nanoparticles as Novel Antibacterial Against of Escherichia coli infection, In vitro & In vivo. *Oriental Journal of Chemistry*, 31, 3.
- Kimia, J. (2017). Kinetika Fotodegradasi Remazol Yellow Menggunakan Fotokatalis ZnO dan ZnO-Ag , 6 (2), 68–71.
- Kusdianto, K. Jiang, D., Kubo, M., dan Shimada, M., (2017). Fabrication of TiO_2 - Ag Nanocomposite Thin Films Via One-Step Gas-Phase Deposition. *Ceramics International*, 1-5.
- Luo, P., Nieh, T.G. (1995), Synthesis of Ultrafine Hydroxyapatite Particles by a Spray Dry Method, *Mater. Sci. Eng.*, C 3, 75–78.

- Matshitse, R. (2017). Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area analysis. *Rhodes University*.
- Morkoc, H. dan Özgür, Ü., (2009) *Zinc Oxide : Fundamentals, Materials and Device Technology*, Wiley-Vch Verlag Gmbh & Co. KgaA : Weinheim.
- Philosophy, D. O. F. (2014). Investigations Of Optical , Structural , Antibacterial And Photocatalytic Properties Of Doped ZnO, 4(July), 1–13.
- Okuyama, K., Abdullah, M., Lenggono, I.W., Iskandar, F. (2006). Preparation of Functional Nanostructured Particles by Spray Drying, *Advanced Powder Technol.*, Vol. 17, No. 6, pp. 587–611
- Okuyama, K., Lenggono, I.W. (2003). Preparation of Nanoparticles Via Spray Route. *Chemical Engineering Science*, 58, 537–547
- Shinde, S. S., Bhosale, C. H., & Rajpure, K. Y. (2012). Oxidative degradation of acid orange 7 using Ag-doped zinc oxide thin films. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 117, 262–268.
- Sohrabnezhad, Sh., dan Seifi, A. (2016). The Green Synthesis Of Ag/ZnO In Montmorillonite With Enhanced Photocatalytic Activity, *Applied Surface Science*, 386, 33–40.
- Strobel, R., (2006). Aerosol Flame Synthesis of Supported Metal Particles and Their Catalytic Applications, *Swiss Federal Institute of Technology Zurich*, Diss. ETH No. 16592.
- Sutanto, B. (2016). Fabrikasi Semikonduktor Zinc Oxide (Zno) Nanofiber Dengan Doping Aluminium Sebagai Photoanoda Single Layer Dan Double Layer Pada Dye-Sensitized Solar Cell (Dssc).
- Sutanto, H., & Diponegoro, U. (2015). Studi Aplikasi Efek Fotokatalis ZnO : Ag Dikombinasi Ozon Pada Proses Pencucian.
- Tambe, Y. B., & Kothari, S. (2016). Oxidative Photodegradation of Evans Blue Dye Using N-Doped Zinc Oxide, 5(8),

1847–1851.

- Tani, T., Madler, L., dan Pratsinis, S. E., (2002). Homogenous ZnO Nanoparticles By Flame Spray Pyrolysis”, *Journal of Nanoparticle Research*, 4, 337-343
- Tian, Y., & Tatsuma, T. (2005). Mechanisms and applications of plasmon-induced charge separation at TiO₂ films loaded with gold nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 127(20), 7632–7637.
- Wahyu, E., & Dini, P. (2014). Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis Zn-Zeolit. *Chem. Prog*, 7(1), 29–33.
- Wang, T., & Bristowe, P. D. (2017). Controlling Ag diffusion in ZnO by donor doping: A first principles study. *Acta Materialia*, 137, 115–122.
- Wang, L., Hu, Q., Li, Z., Guo, J., dan Li, Y., ”Microwave-Assisted Synthesis And Photocatalytic Performance Of Ag-Doped Hierarchical ZnO Architectures”, *Materials Letter*, 79 (2012), 277-280.
- West, A.R. (2014), *Solid State Chemistry and Its Applications*, John Wiley & Sons Ltd. : United Kingdom
- Widodo, S. (2010), Teknologi Sol Gel pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida untuk Aplikasi Sensor Gas, *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*.
- Yu, J., Xiong, J., Cheng, B., dan Liu, S., (2005). Fabrication and Characterization of Ag-TiO₂ Multiphase Nanocomposite Thin Films with Enhanced Photocatalytic Activity”, *Journal of Applied Catalysis B: Environmental*, 60, 211-221.
- Yuliah, Y., & Suryaningsih, S. (2016). Penentuan Ukuran Nanopartikel ZnO Secara Spektroskopik, SNF2016-MPS-123-SNF2016-MPS-128.
- Zhai, H., Wang, L., Sun, D., Han, D., Qi, B., Li, X., Chang, L., dan Yang, J., (2015). Direct Sunlight Responsive Ag-ZnO Heterostructure Photocatalyst: Enhanced Degradation of

- Rhodamine B. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 78, 35-40.
- Zhao, Cunyu, Andy Krall, Huilei Zao, Qianyi Zhang, dan Ying Li, (2012). Ultrasonic Spray Pyrolysis Synthesis of Ag/TiO₂ Nanocomposite Photocatalyst for Simultaneous H₂ Production and CO₂ Reduction”. Milwaukee.
- Zielinski, J. M., & Kettle, L. (2013). Physical Characterization: Surface Area and Porosity. *Whitepaper: Intertek Chemicals and Pharamaceuticals*, (April), 1–7.

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
BM	Berat Molekul	$[gram/mol]$
C	Konsentrasi zat	$[ppm]$
Co	Konsentrasi zat	$[ppm]$
D_m	Diameter pori	$[nm]$
D_p	Diameter partikel	$[nm]$
k	Laju reaksi	$[Time^{-1}]$
m	Massa Zat	$[gram]$
M	Molaritas	$[mol/liter]$
N	Mol	$[mol]$
V	Volume	$[liter]$
T	Suhu	$[K]$
β	<i>Full Width Half Maximum</i>	$[^{\circ}]$
k	Konstanta <i>scherrer</i>	-
S_w	<i>Specific surface area</i>	$[m^2/g]$
λ	Panjang gelombang	$[nm]$
ρ	Densitas campuran	$[kg/m^3]$
Θ	sudut <i>bragg</i>	$[^{\circ}]$
τ	panjang gelombang X-Ray	\AA

LAMPIRAN

1. Pembuatan Larutan Prekursor 0.1 M $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 150 ml

$$M = \frac{\text{massa}}{BM} \times \frac{1000}{P}$$

$$0.1 \text{ M} = \frac{\text{massa}}{219.49} \times \frac{1000}{150}$$

$$\text{massa} = 3.292 \text{ gram}$$

$$\text{massa} = 3292 \text{ mg}$$

Menimbang 3292 mg $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 150 ml aquadest

2. Menentukan Massa Doping Ag yang Digunakan

a) 0.01% Ag

$$\text{Massa Ag} = \frac{0.01}{100} \times 3292 \text{ mg} = 0.329 \text{ mg}$$

b) 0.05% Ag

$$\text{Massa Ag} = \frac{0.05}{100} \times 3292 \text{ mg} = 1.646 \text{ mg}$$

c) 0.1% Ag

$$\text{Massa Ag} = \frac{0.1}{100} \times 3292 \text{ mg} = 3.292 \text{ mg}$$

d) 1% Ag

$$\text{Massa Ag} = \frac{1}{100} \times 3292 \text{ mg} = 32.92 \text{ mg}$$

e) 10% Ag

$$\text{Massa Ag} = \frac{10}{100} \times 3292 \text{ mg} = 329.2 \text{ mg}$$

f) 20% Ag

$$\text{Massa Ag} = \frac{20}{100} \times 3292 \text{ mg} = 658.4 \text{ mg}$$

Menimbang sejumlah AgNO_3 sesuai dengan perhitungan diatas lalu melarutkannya ke dalam larutan prekursor (poin 1)

3. Perhitungan Kebutuhan Oksigen (O₂)

- Laju alir LPG = 0.3 L/menit maka konversi ke mol :

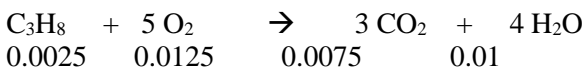
$$n = \frac{V}{24 \text{ L/mol}}$$

$$n = \frac{0.3 \text{ L/min}}{24 \text{ L/mol}}$$

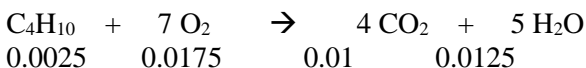
Maka mol yang dihasilkan adalah 0.0125 mol/menit

Maka bila diasumsikan propana dan butana memiliki komposisi yang ekuivalen

Reaksi I :



Reaksi 2 :



Sehingga kebutuhan O₂ per menit adalah 0.03 mol/menit

Sehingga kebutuhan udara minimal adalah

$$\text{Mol udara} = \frac{\text{mol oksigen}}{0.21}$$

$$\text{Mol udara} = \frac{0.03}{0.21}$$

$$\text{Mol udara} = 0.143 \text{ mol}$$

$$\text{Kebutuhan minimal udara} = 3.42 \text{ L/min}$$

Bila diinginkan excess O₂ adalah sebesar 90% maka didapatkan :

$$\% \text{ mol excess} = \frac{\text{mol excess} - \text{mol teoritis}}{\text{mol teoritis}} \times 100\%$$

$$200\% = \frac{\text{mol excess} - 0.1}{0.1} \times 100\%$$

Maka mol O₂ yang dibutuhkan dengan excess 100% = 0.3 mol/menit

Diasumsikan kandungan udara 21% O₂ dan 79% N₂ maka udara minimal yang dibutuhkan :

$$\text{Mol udara} = \frac{\text{mol oksigen}}{0.21}$$

$$\text{Mol udara} = \frac{0.3}{0.21}$$

$$\text{Mol udara} = 1.429 \text{ mol}$$

$$\text{Kebutuhan udara} = 34.3 \text{ L/menit}$$

- Mol dari carrier gas = 3L/menit = 0.125 mol udara/menit
Diasumsikan 21% O₂ dan 79% N₂ maka didapatkan hasil 0.027 mol/menit sehingga O₂ yang ikut terbakar adalah 0.63 L/menit maka keseluruhan O₂ yang ikut terbakar adalah sebesar 0.327 mol/menit atau setara 7.85 L/menit

4. Membuat Larutan Methilen Blue untuk Analisa Fotokatalitik

- Membuat larutan induk 100 ppm dalam 100 ml

$$\frac{100 \text{ mg}}{1 \text{ L}} = \frac{x \text{ mg}}{0.1 \text{ L}}$$

$$x = 10 \text{ mg}$$

Menimbang 10 mg methilen blue ke dalam 100 ml aquadest

- Mengencerkan 100 ppm menjadi 10 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$100 V_1 = 10 \cdot 40 \text{ ml}$$

$$V_1 = 4 \text{ ml}$$

Mengambil 4 ml larutan induk kemudian melarutkannya dengan aquadest hingga 40 ml.

5. Menghitung Diameter Pori Partikel dari Hasil Analisa BET

Perhitungan diameter pori partikel menggunakan persamaan 8.4 *Powder Technology Handbook* 3rd edition

$$S_w = \frac{6}{D_m \rho}$$

$$\text{Sehingga, } D_m = \frac{6}{S_w \rho}$$

Dimana : S_w = specific surface area (m²/g)

D_m = diameter pori (m)

ρ = densitas Ag/ZnO (kg/m³)

- Untuk 0% Ag :

$$S_w = 237.06 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$\rho_{\text{ZnO}} = 5606 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Ag}} = 10490 \text{ kg/m}^3$$

$$D_m = \frac{6}{S_w \rho}$$

$$D_m = \frac{6}{S_w (100\% \cdot \rho_{\text{ZnO}} + 0\% \cdot \rho_{\text{Ag}})}$$

$$D_m = \frac{237.06 \frac{\text{m}^2}{\text{g}} \times (100\% \cdot 5606 + 0\% \cdot 10490) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}}{6}$$

$$D_m = 4.515 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$D_m = 4.515 \text{ nm}$$

Hasil perhitungan 0.1% Ag, 1% Ag, 5% Ag, dan 20% Ag dapat dilihat pada tabel berikut :

% Ag	Luas Permukaan (m ² /g)	Diameter Pori (nm)
0	237.06	4.515
0.1	561.18	1.906
1	409.38	2.592
5	180.148	5.693
20	189.975	4.798

6. Menghitung Diameter Kristal dengan menggunakan Scherrer's equation

$$D_p = \frac{K \times \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Dimana : D_p = Ukuran kristal rata-rata (nm)

K = Scherrer constant, $K = 0.94$

β = FWHM (Full Width at Half Maimum) pada XRD peak

λ = Panjang gelombang sinar X, Cu Ka *average* = 1.54178 Å

θ = Posisi XRD *peak* dari separuh 2θ

Berikut diberikan perhitungan diameter kristal untuk 0% Ag adalah sebagai berikut :

$$D_p = \frac{0.94 \times 1.54178}{0.4684 \cos 36.32} = 3.26 \text{ nm}$$

Hasil perhitungan 0.01%; 0.05%; 0.1%; 1%; 5%; 10% dan 20% Ag dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel A.2 Hasil Perhitungan Diameter Partikel

Sampel		Diameter Ukuran Kristal (nm)
Kandungan ZnO	Kandungan Ag	
0.1 M	0%	3.256
	0.01%	2.279
	0.05%	5.697
	0.1%	3.255
	1%	5.697
	5%	5.700
	10%	1.628
	20%	9.110

7. Perhitungan Konsentrasi Metil Blue dan Koefisien Reaksi (k)

Dari data didapatkan kurva standar dengan persamaan sebagai berikut :

$$Y = 0.2053 X$$

Sehingga bila data menunjukkan absorbansi 2.047 maka hasil konsentrasi yang didapat :

$$2.047 = 0.2053 X$$

Maka konsentrasi yang didapatkan sebesar 9.971 ppm.

1. Menghitung *Methylene Blue Degradation Efficiency* (%MDE) dan $\ln(C/C_0)$ pada Sinar UV

Konsentrasi		Absorbansi						
	Ag (%)	-30	0	15	30	45	60	75
0.1 M	0	1.839	1.776	1.696	1.595	1.508	1.443	1.398
	0.01	1.761	1.698	1.549	1.422	1.315	1.224	1.149
	0.05	1.652	1.547	1.362	1.234	1.136	1.073	1.016
	0.1	1.613	1.489	1.267	1.147	1.038	0.959	0.884
	base	1.843	1.823	1.793	1.772	1.742	1.721	1.692
0.1 M	1	1.536	1.429	1.179	1.078	0.962	0.865	0.765
	5	1.509	1.412	1.126	1.018	0.853	0.714	0.563
	10	1.537	1.434	1.176	1.062	0.924	0.805	0.682
	20	1.551	1.478	1.247	1.130	1.028	0.944	0.842
	Lux		2698	2698	2698	2698	2698	2698

Konsentrasi		Absorbansi						
	Ag (%)	-30	0	15	30	45	60	75
0.1 M	0	8.958	8.651	8.261	7.769	7.345	7.029	6.810
	0.01	8.578	8.271	7.545	6.926	6.405	5.962	5.597
	0.05	8.047	7.535	6.634	6.011	5.533	5.226	4.949
	0.1	7.857	7.253	6.171	5.587	5.056	4.671	4.306
	base	8.977	8.880	8.734	8.631	8.485	8.383	8.242
0.1 M	1	7.482	6.961	5.743	5.251	4.686	4.213	3.726
	5	7.350	6.878	5.485	4.959	4.155	3.478	2.742
	10	7.487	6.985	5.728	5.173	4.501	3.921	3.322
	20	7.555	7.199	6.074	5.504	5.007	4.598	4.101
	Lux		2698	2698	2698	2698	2698	2698

Sehingga didapatkan grafik $\ln (C/C_o)$ vs waktu

$$\ln \frac{C}{C_o} = \ln \frac{8.2611}{8.5533} = -0.0348$$

Konsentrasi		Waktu (menit)					
	Ag (%)	0	15	30	45	60	75
0.1 M	0	0.000	-0.046	-0.107	-0.164	-0.208	-0.239
	0.01	0.000	-0.092	-0.177	-0.256	-0.327	-0.391
	0.05	0.000	-0.127	-0.226	-0.309	-0.366	-0.420
	0.1	0.000	-0.161	-0.261	-0.361	-0.440	-0.521
	base	0.000	-0.017	-0.028	-0.045	-0.058	-0.075
0.1 M	1	0.000	-0.192	-0.282	-0.396	-0.502	-0.625
	5	0.000	-0.226	-0.327	-0.504	-0.682	-0.919
	10	0.000	-0.198	-0.300	-0.440	-0.577	-0.743
	20	0.000	-0.170	-0.268	-0.363	-0.448	-0.563
	Lux	2698	2698	2698	2698	2698	2698

Sehingga didapat melalui grafik $y = ax + b$ dimana konstanta k adalah a.

Untuk perhitungan % degradasi digunakan rumus :

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_o - C}{C_o} \times 100\%$$

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{8.651 - 8.261}{8.651} \times 100\% = 4.51\%$$

Konsentrasi		% Degradasi					
		Waktu (menit)					
	Ag (%)	0	15	30	45	60	75
0.1 M	0	0.000	4.505	10.191	15.090	18.750	21.284
	0.01	0.000	8.775	16.254	22.556	27.915	32.332
	0.05	0.000	11.959	20.233	26.568	30.640	34.324
	0.1	0.000	14.909	22.968	30.289	35.594	40.631
	base	0.000	1.646	2.798	4.443	5.595	7.186
0.1 M	1	0.000	17.495	24.563	32.680	39.468	46.466
	5	0.000	20.255	27.904	39.589	49.433	60.127
	10	0.000	17.992	25.941	35.565	43.863	52.441
	20	0.000	15.629	23.545	30.447	36.130	43.031
	Lux	2698	2698	2698	2698	2698	2698

2. Menghitung *Methylene Blue Degradation Efficiency* (%MDE) dan $\ln(C/C_0)$ pada Sinar matahari

Konsentrasi		Absorbansi						
	Ag (%)	-30	0	15	30	45	60	75
0.1 M	0	1.789	1.661	1.265	1.087	0.852	0.654	0.562
	0.01	1.762	1.625	1.224	0.937	0.732	0.492	0.321
	0.05	1.725	1.583	1.146	0.824	0.566	0.382	0.234
	0.1	1.782	1.436	1.023	0.654	0.372	0.236	0.194
	base	1.713	1.692	1.563	1.453	1.345	1.302	1.262
0.1 M	1	1.704	1.298	0.817	0.468	0.216	0.146	0.104
	5	1.651	1.293	0.659	0.184	0.086	0.050	0.046
	10	1.694	1.212	0.739	0.324	0.147	0.102	0.074
	20	1.698	1.375	0.941	0.592	0.311	0.198	0.164
	Lux		95000	97500	89000	86500	88000	90000

Konsentrasi			10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
0.1 M	Ag (%)	-30	0	15	30	45	60	75
	0	8.714	8.091	6.162	5.295	4.150	3.186	2.737
	0.01	8.583	7.915	5.962	4.564	3.566	2.396	1.564
	0.05	8.402	7.711	5.582	4.014	2.757	1.861	1.140
	0.1	8.680	6.995	4.983	3.186	1.812	1.150	0.945
	base	8.344	8.242	7.613	7.077	6.551	6.342	6.147
0.1 M	1	8.300	6.322	3.980	2.280	1.052	0.711	0.507
	5	8.042	6.298	3.210	0.896	0.419	0.244	0.224
	10	8.251	5.904	3.600	1.578	0.716	0.497	0.360
	20	8.271	6.698	4.584	2.884	1.515	0.964	0.799
	Lux		95000	97500	89000	86500	88000	90000

Konsentrasi		10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
0.1 M	Ag (%)	0	15	30	45	60	75
	0	0.000	-0.272	-0.424	-0.668	-0.932	-1.084
	0.01	0.000	-0.283	-0.551	-0.797	-1.195	-1.622
	0.05	0.000	-0.323	-0.653	-1.028	-1.422	-1.912
	0.1	0.000	-0.339	-0.787	-1.351	-1.806	-2.002
	base	0.000	-0.079	-0.152	-0.230	-0.262	-0.293
0.1 M	1	0.000	-0.463	-1.020	-1.793	-2.185	-2.524
	5	0.000	-0.674	-1.950	-2.710	-3.253	-3.336
	10	0.000	-0.495	-1.319	-2.110	-2.475	-2.796
	20	0.000	-0.379	-0.843	-1.486	-1.938	-2.126
	Lux	95000	97500	89000	86500	88000	90000

Konsentrasi		% Degradasi					
		10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
0,1 M	Ag (%)	0	15	30	45	60	75
	0	0.000	23.841	34.557	48.706	60.626	66.165
	0.01	0.000	24.677	42.338	54.954	69.723	80.246
	0.05	0.000	27.606	47.947	64.245	75.869	85.218
	0.1	0.000	28.760	54.457	74.095	83.565	86.490
	base	0.000	7.624	14.125	20.508	23.050	25.414
0.1 M	1	0.000	37.057	63.945	83.359	88.752	91.988
	5	0.000	49.033	85.770	93.349	96.133	96.442
	10	0.000	39.026	73.267	87.871	91.584	93.894
	20	0.000	31.564	56.945	77.382	85.600	88.073
	Lux	95000	97500	89000	86500	88000	90000

Untuk melakukan penyesuaian dengan nilai lux, maka semua harus dijadikan ke intensitas matahari awal dengan rumus :

$$C_{koreksi} = C \times \frac{\text{Lux akhir}}{\text{Lux awal}}$$

$$C_{koreksi} = 6.1617 \times \frac{97500}{95000} = 6.324$$

Sehingga didapat $\ln(C/C_0)$ koreksi adalah :

Konsentrasi		10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
0.1 M	Ag (%)	0	15	30	45	60	75
	0	0.000	-0.246	-0.489	-0.761	-1.009	-1.138
	0.01	0.000	-0.257	-0.616	-0.891	-1.271	-1.676
	0.05	0.000	-0.297	-0.718	-1.122	-1.498	-1.966
	0.1	0.000	-0.313	-0.852	-1.444	-1.882	-2.056
	base	0.000	-0.053	-0.218	-0.323	-0.339	-0.347

0.1 M	1	0.000	-0.437	-1.085	-1.887	-2.262	-2.578
	5	0.000	-0.648	-2.015	-2.804	-3.329	-3.390
	10	0.000	-0.469	-1.385	-2.203	-2.552	-2.850
	20	0.000	-0.353	-0.908	-1.580	-2.014	-2.180
	Lux	95000	97500	89000	86500	88000	90000

Sehingga % degradasi koreksi adalah :

Konsentrasi		% Degradasi					
		10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45
0,1 M	Ag (%)	0	15	30	45	60	75
	0	0.000	21.837	38.691	53.295	63.527	67.946
	0.01	0.000	22.695	45.980	58.984	71.954	81.286
	0.05	0.000	25.701	51.234	67.444	77.647	85.996
	0.1	0.000	26.886	57.333	76.413	84.776	87.201
	base	0.000	5.193	19.549	27.621	28.720	29.339
0.1 M	1	0.000	35.401	66.222	84.848	89.581	92.409
	5	0.000	47.692	86.668	93.944	96.418	96.630
	10	0.000	37.422	74.956	88.956	92.204	94.216
	20	0.000	29.763	59.665	79.406	86.661	88.700
	Lux	95000	97500	89000	86500	88000	90000

BIODATA PENULIS



Ika Silvia Anggraeni, lahir di Lamongan, 22 Oktober 1993. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Negeri Mondokan no. 38 (2000-2006), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 5 Tuban (2006-2009), kemudian pendidikan menengah atas di SMA Negeri 2 Tuban (2009–2012), kemudian dilanjutkan menempuh studi jenjang perguruan tinggi di D3 Teknik Kimia ITS Surabaya (2012-2015). Selama kuliah, penulis aktif dalam berorganisasi di BEM FTI-ITS. Sekarang penulis sedang menempuh studi jenjang perguruan tinggi dengan mengambil Departemen S1 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya. Pada tahun 2016, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Petrokimia Gresik. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng dan Suci Madhania, S.T., M.T, penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Gula”. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “*Pengaruh Penambahan Ag Terhadap Performa dari Aktivitas Fotokatalitik ZnO Yang Disintesa Dengan Metode Pirolisa Flame*” yang dibimbing oleh Dr. Kusdianto S.T., M.Sc.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

DATA PRIBADI PENULIS

Phone : +6285707234920

Email : ikasilvia22@gmail.com

Line : @silvia_azizah

BIODATA PENULIS



Herlinda Septiany lahir di Mojokerto, 18 September 1994. Penulis menempuh pendidikan formal yang dimulai di SD Negeri Miji 4 Kota Mojokerto (2000-2006), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 2 Kota Mojokerto (2006-2009), dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Puri Kab. Mojokerto (2009–2012), kemudian dilanjutkan menempuh studi jenjang perguruan tinggi di D3 Teknik Kimia ITS Surabaya (2012-2015). Selama kuliah, penulis aktif dalam berorganisasi di BEM ITS. Sekarang penulis sedang menempuh studi Lintas Jalur dengan mengambil Departemen S1 Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya. Pada tahun 2016, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Petrokimia Gresik. Pada tahun terakhir studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. dan Suci Madha Nia, S.T., M.T., penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Gula”. Pada semester akhir, penulis mengerjakan skripsi berjudul “*Pengaruh Penambahan Ag terhadap Performa dari Aktivitas Fotokaalitik ZnO yang Disintesa dengan Metode Pirolisa Flame*” yang dibimbing oleh Dr. Kusdianto S.T., M.Sc.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.

DATA PRIBADI PENULIS

Phone : +6285732773646

Email : herlindaseptiany@gmail.com

Line : @herlindaseptiany